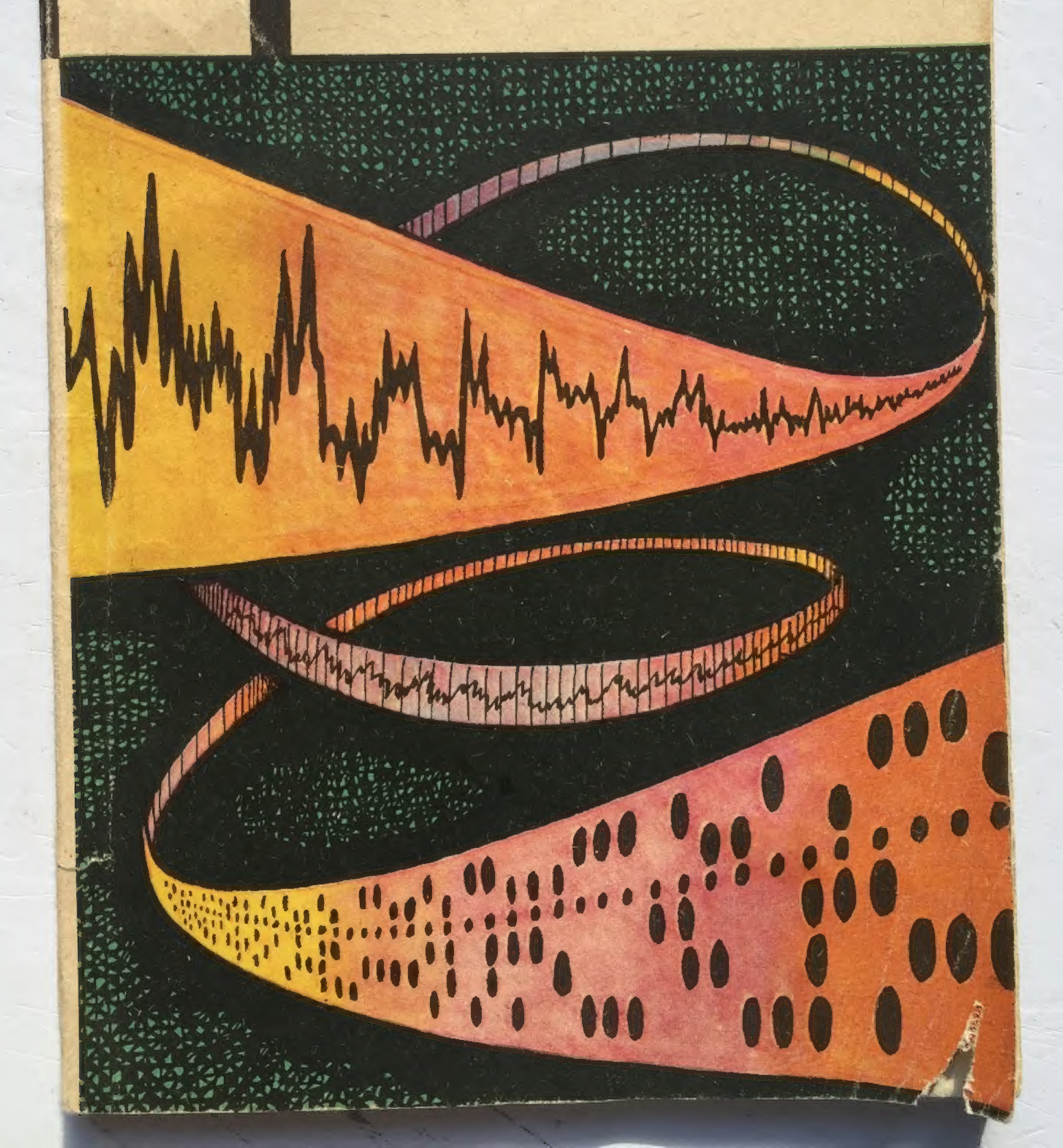
В
МИРЕ
НАУКИ
И
ТЕХНИКИ

А. М. Эндрю

МОЗГ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА





ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МИР»

Перевод с английского
А. Б. Шубина

Предисловие
А. И. Прохорова

BRAINS and COMPUTER
A. M. Andrew
George G. Harrap and Co. Ltd
London
Toronto
Wellington
Sydney

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

ийского

а

«МИР»

А. М. Эндрю

МОЗГ

И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

МОСКВА 1967

Перевод с английского
А. Б. Шубина

Предисловие
А. И. Прохорова

MPUTER

d Co. Ltd

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

А. М. Эндрю

МОЗГ

И
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
МАШИНА

МОСКВА 1967

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга Эндрю знакомит читателя с многочисленными очень интересными проблемами, связанными с разработкой больших вычислительных машин и методов решения на них различных задач, а также с широким кругом вопросов, возникающих при исследовании живого мозга.

Проблемы, которым посвящена книга, не новы. Они широко обсуждаются в солидных монографиях, журнальных статьях, научно-популярных книгах и газетных заметках. Тем не менее читатель найдет в книге немало нового, а тот, кто хорошо знает фактический материал, заинтересуется глубокими сравнениями и далеко идущими аналогиями живого мозга и вычислительной машины.

В небольшой по объему книге, всего на нескольких десятках страниц, автору удалось довольно полно рассказать о современном положении в области техники, теории и эксплуатации вычислительных машин, с одной стороны, и дать наглядное представление о состоянии современной науки о мозге — с другой. Оба эти направления автор сопоставляет, отмечая наиболее важные тенденции в развитии современной вычислительной техники и новые методы изучения мозга в связи с развитием кибернетики.

В книге просто и лаконично рассматриваются все основные особенности, отличающие строение мозга от внутренней структуры вычислительной машины. Нельзя не отметить хорошо продуманную систематичность изложения: принцип действия и устройство вычислительной машины и мозга, описание работы машины и мозга и затем сопоставление мозга как «машины» и машины как «мозга».

Вместе с тем хотелось бы обратить внимание читателя на некоторые неточности и упущения, которые все же имеются в книге. Так, например, автор ничего не говорит об обучающихся машинах, не освещает вопрос о применении вычислительных машин в медицине, метеорологии, и наконец, совсем не упоминает об исключительной роли современной вычислительной техники в завоевании космоса.

Эндрю пишет, что современные машины выполняют операции за время порядка одной микросекунды — сегодня это уже несколько устарело. Преувеличено его утверждение, что современные программы, позволяющие машинам играть в шахматы, дадут им возможность участвовать в чемпионатах мира.

Автор в ряде случаев, к сожалению, увлекается рассмотрением внешне эффектных проблем. Например, он вполне серьезно обсуждает, чтó может лучше помочь современному композитору: изучение случайной последовательности нот, выбранной машиной, или городская телефонная книга!

Однако эти недочеты ни в коей мере не умаляют достоинств книги.

При всей лаконичности и популярности изложения Эндрю не избегает действительно научного рассмотрения обсуждаемой темы. Именно поэтому книга, которую с удовольствием прочтут самые широкие круги читателей, представит большой интерес и для специалистов, разбирающихся как в вычислительной технике, так и в нейрофизиологии.

Сопоставление мозга и машины Эндрю начинает с замечания, что машины воспринимают программы для решения задач с перфолент (через устройство ввода), в то время как «программа» работы мозга неотделима от него. Мозг и машины могут решать очень много задач. Это множество в настоящее время не представляется возможным очертить даже в самом грубом приближении. Еще очень

мало известно о том, что может сделать мозг и что машина. Теория алгоритмов, теория рекурсивных функций, теория конечных автоматов и другие разделы теоретической и технической кибернетики, нейрокибернетика и нейрофизиология дают лишь общее представление о возможностях машины и мозга. Конкретный ход решения задач различной сложности мозгом изучен еще очень слабо. Тем не менее мы научились отмечать и понимать «сложность» работы мозга, когда человек совершает даже самые обычные действия: берет со стола стакан, ходит и т. п. В то же время мы уже умеем решать на машинах многие математические задачи, которые пятнадцать лет назад казались практически неразрешимыми из-за необходимости выполнения чрезмерно большого объема вычислений. Эндрю отмечает, что наибольшей загадкой является, по-видимому, способность мозга самостоятельно находить программу для решения новых задач. Однако здесь дело не просто в том, что человек может обучаться — машины в простейших случаях тоже демонстрируют способность к обучению, — а в том, что человек способен «понять», «осмыслить» задачу, а точнее, сформулировать ее в удобном для него виде. Больше того, человек сам «придумывает» задачу, хотя, если внимательно проанализировать этот процесс, «придумывание» задачи в основном сводится к уточнению ее формулировки.

Выражение «сформулировать задачу — это значит наполовину ее решить» стало крылатым в науке. «Формулирование» задачи есть действительно процесс ее решения. Человек стремится найти в новой проблеме нечто сходное с уже известными, дать формулировку в установленных и знакомых ему терминах, схемах и математических символах.

В настоящее время известны некоторые важные, тонкие принципы работы и механизмы приспособления, которые осуществляются в мозге и которые оказалось возможным перенести на машины. Эндрю дает интересную оцен-

ку системам поиска, обучаемым автоматам для распознавания образов, машинам эвристического программирования и машинам «творчества» (сочиняющим музыку).

Следует отметить, что во время написания книги не были опубликованы результаты работ американского ученого Самуэля, который построил первую машину, работающую по эвристической программе. Значительный интерес представляют также недавно опубликованные труды советского ученого Зарипова, который разработал действительно научный метод сочинения машинной музыки.

Вместе с тем очень многое в работе мозга пока еще остается неизвестным, и прежде всего замечательная способность самостоятельно находить программу решения новой задачи.

Другая проблема, которую ставит Эндрю, — эксплуатационная надежность машин и мозга. Мозг не нарушает своей работы при сильном химическом воздействии (например, алкоголя). Требуются очень большие отклонения в режимах работы нервных клеток, прежде чем это приведет к заметным нарушениям функции мозга как целого. В то же время уже незначительные изменения режимов работы элементов вычислительной машины служат причиной срыва ее работы. Поэтому проблемы эксплуатационной надежности и контроля нарушений, связанных с изменением режимов работы элементов машин, являются в настоящее время самыми актуальными в технике.

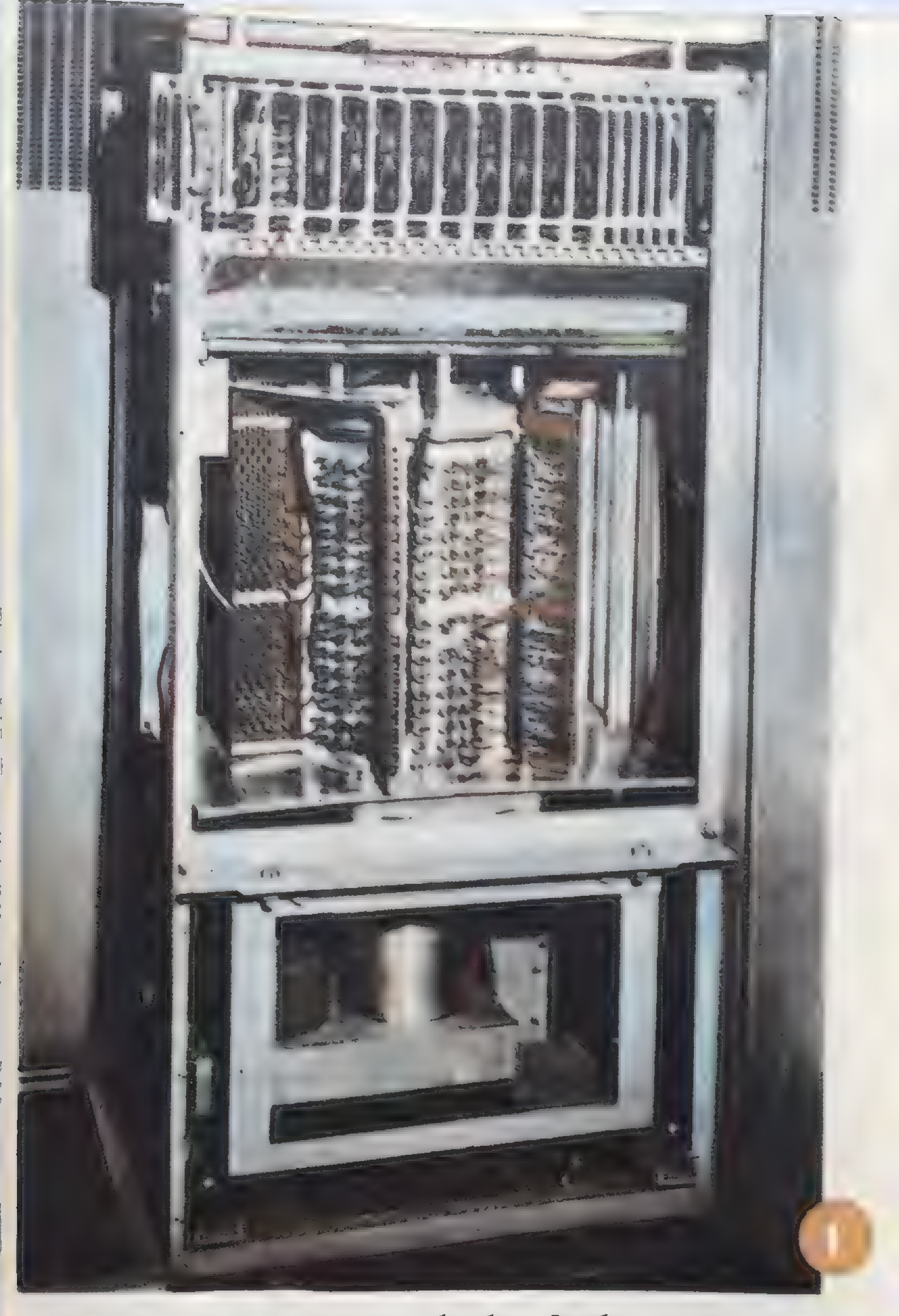
В машинах, построенных на электронных лампах, основные поломки имеют, так сказать, структурный характер: повреждения часто вызываются неисправностью контактов. В то же время в современных машинах — а они очень скоро станут в подавляющем большинстве полупроводниковыми — основными нарушениями будут «уходы» режимов работы отдельных элементов. Как сделать такие машины надежными? Или хотя бы научиться восстанавливать нормальный режим их работы? Понимание функциональной надежности мозга может помочь в реше-

нии этих вопросов. Кстати, одна из важнейших проблем кибернетики — придание машине гибкости мозга — также непосредственно связана с надежностью. Ведь способность мозга решать задачи при выходе из строя значительной его части (более того, при неправильной работе этой части) можно рассматривать как способность неповрежденной части научиться компенсировать нарушенные и утраченные функции. В действительности именно так и обстоит дело. Обычно сразу после повреждения мозг работает плохо, и процессы восстановления нарушенных функций развиваются постепенно.

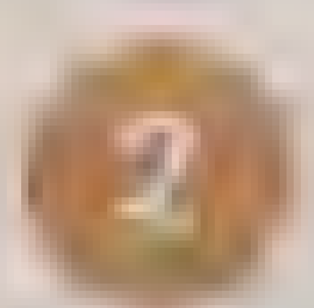
Книга Эндрю — пример вдумчивого и серьезного подхода к одной из самых актуальных и дискуссионных проблем науки последних лет — созданию машин, по своим характеристикам близких к мозгу. Она убедительно показывает, что задачи, связанные с приближением машины к живому мозгу, можно решить только совместными усилиями инженеров, физиков, математиков, с одной стороны, и биологов, физиологов, психологов — с другой.

Эндрю подчеркивает, что эти исследования по необходимости должны иметь двоякого рода цели: с одной стороны, совершенствование машин, а с другой — раскрытие принципов работы мозга. Такие исследования уже проводятся. И сегодня они занимают центральное место в новой области знания — бионике. В Советском Союзе и за рубежом уже достигнуты первые практические успехи в области создания и эксплуатации экспериментальных систем, читающих и распознающих автоматов, машин, составляющих программу обработки деталей на конвейере. Все это говорит о том, что здесь нас ожидает новая техническая революция, которая позволит решить одну из величайших проблем современности — полную автоматизацию производственных и управляющих процессов.

А. Прохоров



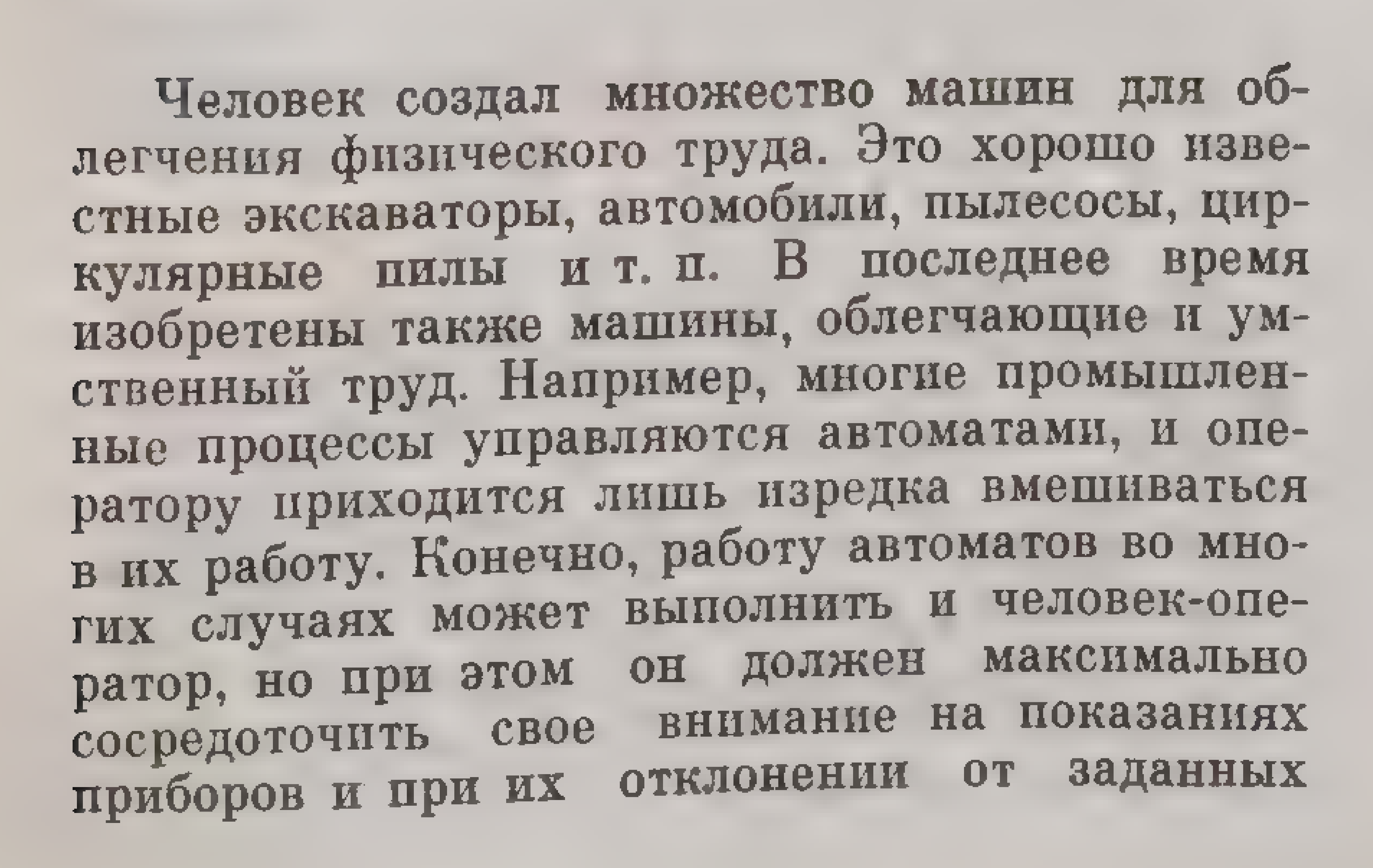
Общий вид памяти на магнитном барабане. Барабан находится за изогнутой платой, на которой укреплены магнитные головки. Запись и считывание информации производятся на большом числе параллельных дорожек на магнитном материале, нанесенном на поверхность барабана.



Общий вид цифровой вычислительной машины. Оператор слева держит пачку перфокарт и собирается вложить их в считывающее устройство.



ВВЕДЕНИЕ



Человек создал множество машин для облегчения физического труда. Это хорошо известные экскаваторы, автомобили, пылесосы, циркулярные пилы и т. п. В последнее время изобретены также машины, облегчающие и умственный труд. Например, многие промышленные процессы управляются автоматами, и оператору приходится лишь изредка вмешиваться в их работу. Конечно, работу автоматов во многих случаях может выполнить и человек-оператор, но при этом он должен максимально сосредоточить свое внимание на показаниях приборов и при их отклонении от заданных

значений своевременно производить различные операции с задвижками и переключателями. Наблюдение за многими приборами требует большого умственного напряжения. Поэтому автоматический регулятор особо ценен именно тем, что он облегчает не только физический, но и умственный труд.

Автоматы для управления технологическими процессами проще других машин, которые способны совершать работу, выполнявшуюся ранее только человеческим мозгом. Современные электронные вычислительные машины могут производить многочисленные расчеты, связанные с финансовыми операциями, преодолевая без особых трудностей сложности расчетов подоходного налога, страховых взносов, премий и различных дополнительных оплат при подсчете заработной платы, а также подготавливать оперативные данные для составления отчетов о текущем финансовом положении предприятия.

Еще большее значение приобретают электронные вычислительные устройства при использовании их в научных исследованиях, где производятся необходимые в повседневной работе сложные вычисления, которые могут быть выполнены только машинами.

Однако многие замечательные свойства вычислительных машин пока еще не нашли широкого применения. Так, электронные вычислительные машины могут весьма успешно играть в шахматы, доказывать теоремы из евклидовой геометрии и даже сочинять музыку!

С каждым годом машинам приходится выполнять все более сложные виды работ, которые раньше были доступны только человеческому мозгу. Есть ли предел возможностям машин? Может ли машина выполнить все то, что под силу мозгу человека? Надо быть довольно смелым, чтобы определенно ответить на эти вопросы.

Цель книги — дать представление о том, что́ такое электронные вычислительные машины и каковы их возможности; с той же точки зрения рассматривается и человеческий мозг (хотя в этом отношении о нем еще многое нам не известно).

Трудно предсказать путь дальнейшего развития электронных вычислительных машин, и нас, по всей вероятности, машины будущего удивили бы не меньше, чем Ньютона современные вычислительные устройства.



Общий вид электронной вычислительной машины «Пегас». Аппарат для считывания информации с перфоленты расположен слева. Справа находится аппарат для пробивки перфоленты, а также электрическая пишущая машинка для печатания полученных результатов на широкой бумажной ленте.

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

2

Из всех устройств, облегчающих умственный труд человека, наибольший интерес представляют большие сложные электронные вычислительные машины, которые часто называют «электронным мозгом». Они действительно во многом напоминают мозг, но, как мы увидим дальше, и существенно отличаются от него.

Электронные вычислительные машины, как и мозг, очень сложны, их составные части име-

ют множество соединений. Большинство из них служит только для передачи информаций, а остальные снабжают энергией отдельные блоки, чтобы они могли нормально функционировать. В вычислительных машинах такой энергией является электричество [1]. В мозге источником энергии служат сахар и кислород, которые переносятся кровью по сети кровеносных сосудов.

И мозг, и электронная вычислительная машина получают информацию по одним каналам, а передают ее по другим. Читая книгу, вы принимаете информацию глазами и через зрительный нерв передаете ее мозгу. Уши, вкусовые бугорки на языке и другие органы чувств принимают информацию иного характера. Ответ мозга выдается в виде приказаний мышцам тела. Например, когда вы читаете, мозг управляет глазной мускулатурой так, чтобы взгляд скользил вдоль печатной строки.

Приказания, которые исходят от мозга, в значительной степени зависят от получаемой им информации. В действительности во многих случаях человеческий мозг должен реагировать на поступающую информацию практически мгновенно. Если, например, человек играет в футбол, то его мозг посылает приказания соответствующим группам мышц, причем содержание этих приказаний во многом зависит от того, где игрок видел мяч и других игроков в предшествующее мгновение.

[1] Применения вычислительных машин и устройств столь разнообразны, что в зависимости от принципа работы наряду с электричеством иногда используют и другие виды энергии: механическую, сжатый воздух, воду под давлением и др. В настоящее время ведутся работы по применению лучей света для связи и питания отдельных блоков сверхбыстродействующих машин.— *Прим. перев.*



Вычислительная машина обычно получает информацию в виде определенной системы отверстий, пробитых в ленте или на карте; в таком же виде выдаются и ответы машины [1].

И мозг, и вычислительная машина — сложные устройства, элементы которых связаны не только между собой, но и с внешним миром. В чем же сходство способов связи в мозге и вычислительной машине и какие из них сложнее?

Мозг намного сложнее современной вычислительной машины. Большая электронная вычислительная машина состоит из нескольких тысяч электронных ламп или транзисторов и в десять или двадцать раз большего числа других деталей — в ней примерно от 50 до 100 тысяч элемен-

[1] Конструкторы современных вычислительных машин стремятся приблизить форму входной и выходной информации к форме, легко воспринимаемой человеком. Так, многие современные машины могут быть соединены с электрической пишущей машинкой, которая печатает решение задачи в виде предложений и цифр на листе бумаги.— *Прим. перев.*

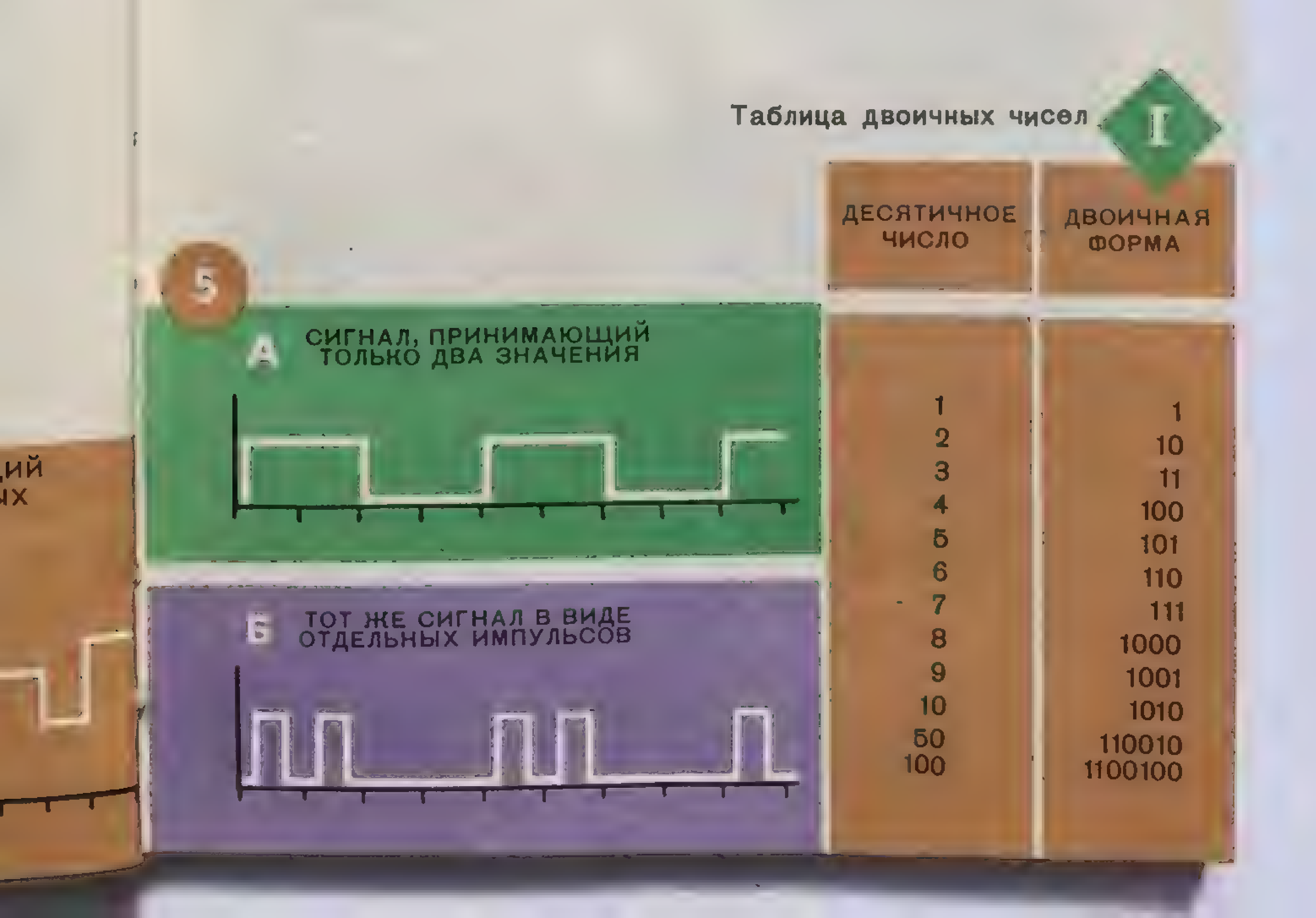


Таблица двоичных чисел

ДЕСЯТИЧНОЕ ЧИСЛО	ДВОИЧНАЯ ФОРМА
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
50	110010
100	1100100

тов. Количество нервных клеток в мозге человека приблизительно равно 10 000 000 000, что соответствует числу элементов в ста тысячах больших вычислительных машин. Иными словами, мозг одного человека содержит больше элементов, чем все вычислительные машины мира, вместе взятые! Однако при сравнении числа составных частей мозга и электронной вычислительной машины мы, пожалуй, несколько несправедливы к машине, потому что каждый из ее компонентов используется намного интенсивнее любой отдельно взятой нервной клетки мозга. Хотя вычислительные машины устроены значительно проще, чем мозг, и состоят из меньшего количества элементов, они в меньшей степени отличаются от него по сложности своей структуры.

Способ связи в вычислительной машине зависит от ее типа — аналоговая она или цифровая. *В аналоговой вычислительной машине* сигналы, посылаемые из одной ее части в другую, передаются в виде электрических напряжений. Эти напряжения принимают любые значения в пределах определенного интервала, например от −50 до +50 вольт.

В цифровой электронной вычислительной машине сигналы имеют в пределах некоторого диапазона лишь вполне определенное число значений.

На фиг. 4, *А* показан сигнал, который изменяется непрерывно, как это происходит в аналоговых устройствах; на фиг. 4, *Б* — сигнал, который может принимать только десять определенных значений. Оба графика показывают, как меняются сигналы во времени. Если уровни напряжений сигнала, изображенного на фиг. 4, *Б*, пронумеровать цифрами от нуля до девяти, то этот сигнал можно рассматривать как число 31415926536. Отдельные цифры 3, 1, 4 и т. д. представляют собой разряды этого числа, а каждое из десяти значений напряжения представляет ту или иную цифру.

Однако в цифровых вычислительных машинах сигналы не обязательно принимают десять различных значений. Удобнее, если они имеют наименьшее число значений, необходимое для передачи любой информации. Для этого достаточно, чтобы сигнал имел только два уровня (фиг. 5, *А*).

Практически используются сигналы в виде отдельных импульсов, как показано на фиг. 5, *Б*. Здесь изображено число, которое записывается как 110011001.

Электронная вычислительная машина обладает удивительной способностью — она проделывает все вычисления. оперируя только двумя цифрами — 0 и 1. Цифры, которые принимают только два значения, называют *двоичными цифрами.* Они могут использоваться в машине для передачи любой нужной информации. В повести Кэрролла «Алиса в зазеркалье» говорится о том, как Алиса поняла, что для разговора с котенком достаточно, чтобы он отвечал сигналами в двоичном коде. Но однажды Алиса заметила, что все котята имеют привычку мурлыкать в ответ на все, что бы им ни говорили. «Если бы они мурлыкали, когда нужно сказать «да», и мяукали, когда «нет», — сказала Алиса, — тогда они могли бы поддерживать разговор! Но как же можно разговаривать с особой, когда она все время говорит одно и то же?» В данном случае котенок только мурлыкал и невозможно было угадать, означает ли это «да» или «нет».

Обычно мы оперируем числами в десятичной системе счисления. Если мы записываем число 345, то под этим подразумеваем $3\times10\times10$ плюс 4×10 плюс 5. Крайняя цифра справа обозначает число единиц, вторая справа — число десятков, третья — число сотен. Двоичными цифрами также можно записать любое число. В этом случае за основу нужно взять число два вместо десяти, тогда для записи числа потребуются только две цифры. Двоичное число 10010 фактически означает $1\times2\times2\times2\times2$ плюс $0\times2\times2\times2$ плюс $0\times2\times2$ плюс 1×2 плюс 0, что после сложения соответствует числу 18 в десятичной системе. Здесь крайняя цифра справа обозначает число единиц, вторая справа — число двоек, третья — число троек во второй степени и т. д. Для наглядности приведем таблицу 1.

Сравним теперь «внутренний язык», применяемый для связи между блоками машины, с «внутренним языком» мозга. В мозге информация передается по нервным волокнам, и сигналы состоят из последовательностей импульсов возбуждения. Импульсы в нервном волокне подобны тем, которые изображены на фиг. 5,*Б;* как видим, они имеют одну и ту же величину. Нервное волокно может передавать лишь такие импульсы, то есть передавать возбуждение только по принципу *«все или ничего».*

Двоичные сигналы в цифровых машинах очень близки к сигналам, передаваемым нервными клетками. В передаче информации нервными клетками особую роль играет *частота*, с которой следуют импульсы, а не их пространственно-временнóе распределение (фиг. 5, *Б*). Так как частота импульсов может принимать любые значения в определенном интервале, скажем от 0 до 200 импульсов в секунду, то характер изменения сигналов в нервных волокнах подобен тому, которым обладают аналоговые машины.

Поэтому сигналы мозга имеют тот же вид, что и сигналы обоих типов машин.

В последующих главах мы рассмотрим подробнее принципы работы мозга. Сначала, однако, следует глубже ознакомиться с устройством вычислительных машин и с тем, какие функции они могут выполнять и как они их выполняют.

КАК РАБОТАЮТ ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

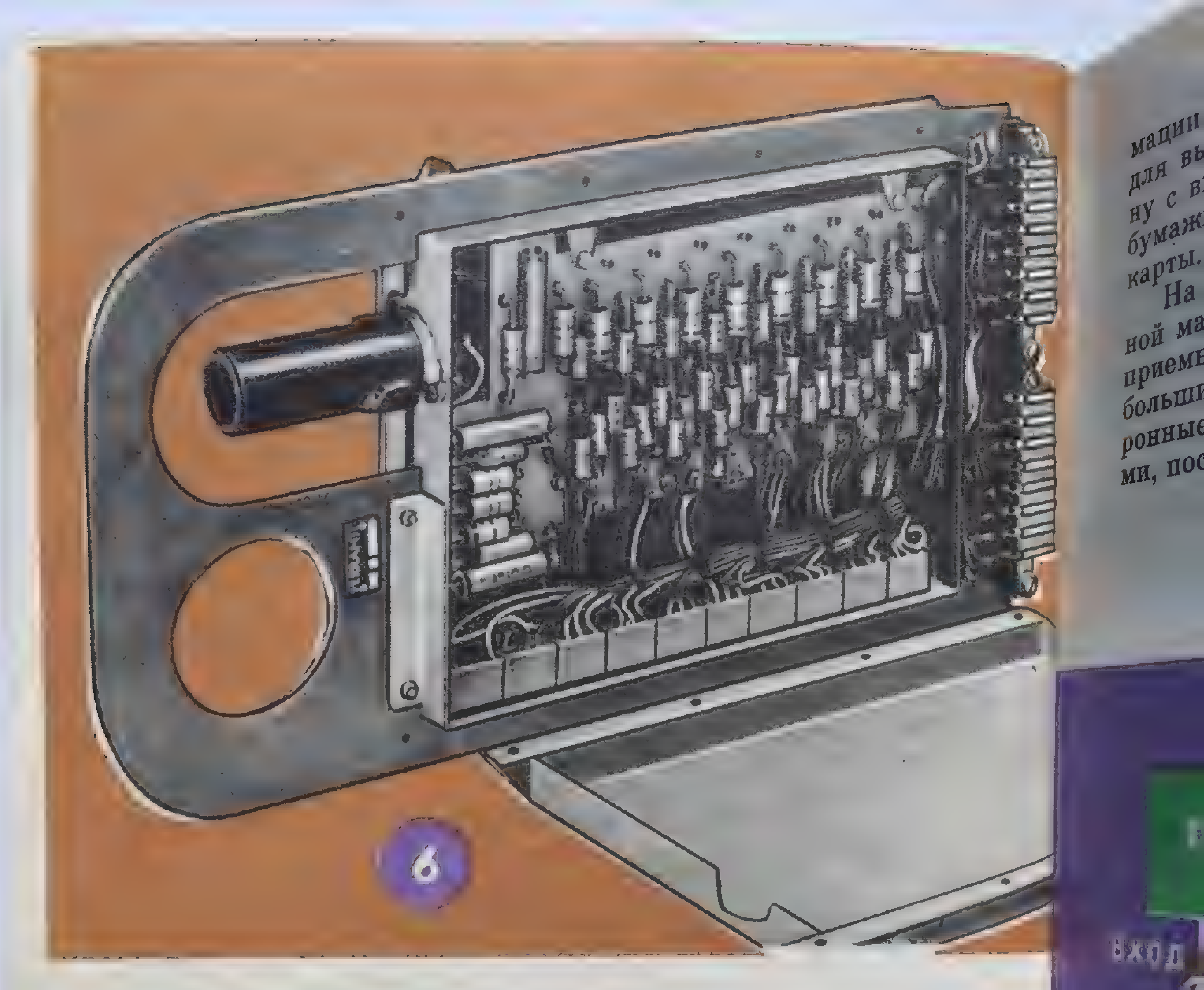


Чтобы представить себе возможности вычислительных машин, достаточно рассмотреть только цифровые машины, поскольку все то, что выполняет аналоговая машина, присуще и цифровой.

Однако это не значит, что аналоговые машины не нужны и их следует отправить на металлолом. На аналоговой машине многие задачи можно решить гораздо быстрее и с меньшими усилиями, чем на цифровой.

Аналоговые машины используются для изучения любых физических систем — от управляемых снарядов до дистилляционных колонн. Сигналы в аналоговой машине могут моделировать величину воздействия аэродинамической силы на рули управления ракеты или изменение ее траектории. Можно промоделировать также количество жидкости и пара на различных уровнях дистилляционных колонн. Инженер, решающий задачу на аналоговой машине, должен так соединить различные ее блоки, чтобы образовалась электрическая модель, или *аналог*, моделируемой им физической системы. Аналоговая машина может быть использована при исследовании поведения физических систем в различных условиях. Соединяя соответствующим образом блоки одной и той же машины, можно смоделировать и дистилляционную колонну, и управляемый снаряд.

Цифровые машины еще более универсальны; перечислить все, что они могут выполнить, просто невозможно. В этом отношении *они напоминают мозг с огромным разнообразием вы-*



Блок вычислительной машины «Пегас».

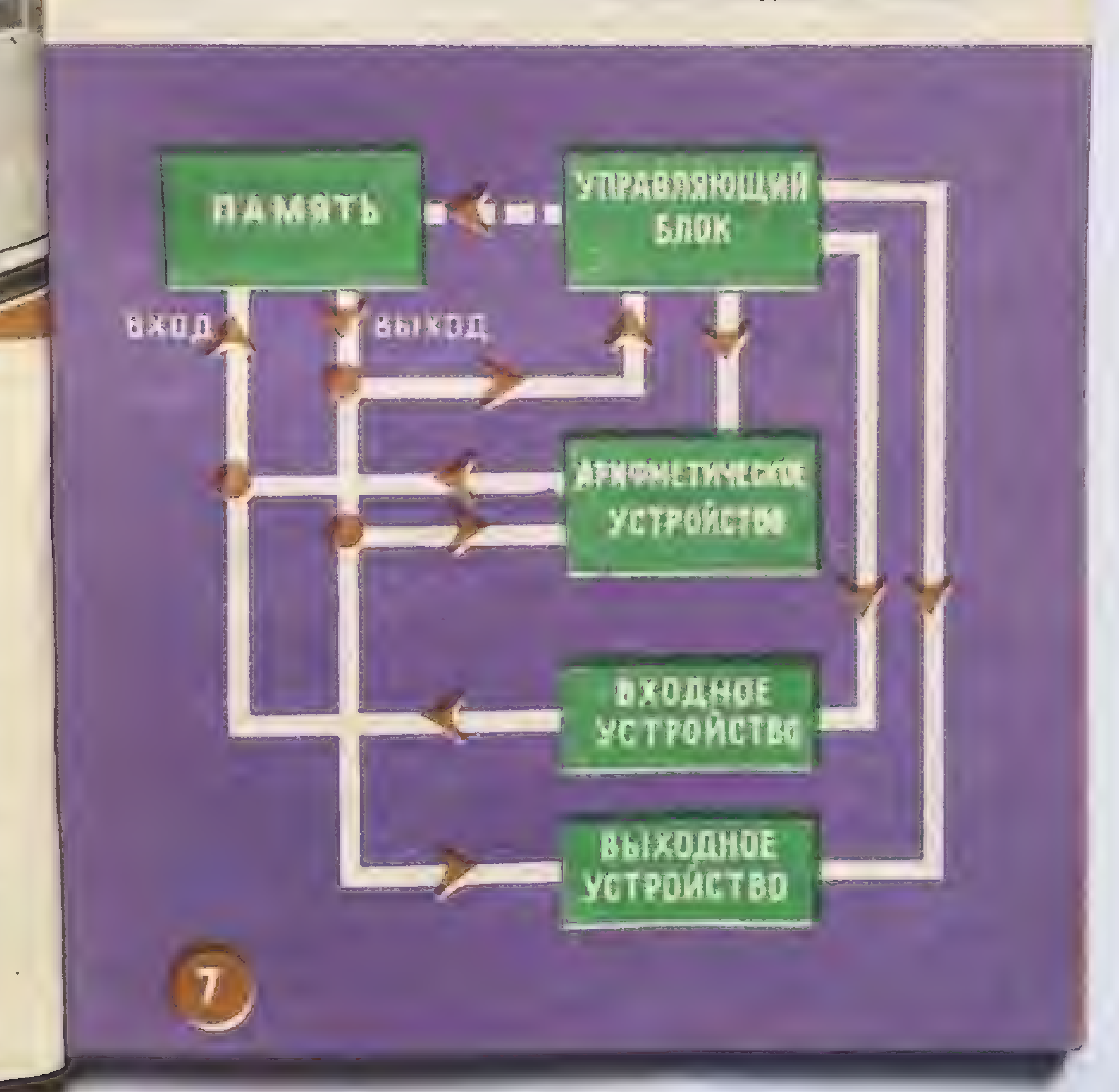
полняемых им функций: от управления простейшими движениями до сложной деятельности, как, например, конструирование современных вычислительных машин.

На фиг. 2 и 3 даны фотографии больших цифровых машин. Разветвленные электронные схемы помещены в металлические кожухи для защиты от пыли. Устройство (см. фиг. 3), расположенное слева от оператора, служит для считывания информации с перфоленты и преобразования ее в электрические сигналы, которые затем подаются в машину. Справа от оператора находится перфорирующее устройство, которое пробивает в бумажной ленте отверстия в соответствии с поступающими из машины сигналами, которые представляют собой закодированное решение задачи. Входное устройство для считывания инфор-

мации и выходное печатающее устройство, которое служит для выдачи решения, — это каналы, связывающие машину с внешним миром. В некоторых типах машин вместо бумажных лент используются так называемые перфокарты.

На фиг. 6 изображен блок электронной вычислительной машины. Его составные части те же, что и в радиоприемниках, но только более высокого качества. В схемах большинства вычислительных машин используются электронные лампы, хотя их все больше заменяют транзисторами, поскольку они миниатюрнее, потребляют меньше энер-

Блок-схема цифровой машины.



гии и более надежны[1]. Надежность — один из основных факторов успешной работы электронных вычислительных машин. Обеспечивается она применением высококачественных элементов. Если бы использовались элементы низкого качества и вероятность выхода из строя одного элемента в течение часа работы была бы 1 к 10 000, то очевидно, что в больших электронных вычислительных машинах, состоящих, скажем, из 100 000 элементов, общее число элементов, выходящих из строя, сделало бы эти машины практически непригодными к работе.

Хотя выше указывалось, что электронные вычислительные машины обладают замечательными способностями, например могут играть в шахматы, их в основном используют для выполнения арифметических операций. *Арифметическое устройство* — одна из главных частей цифровой машины. Числа в виде электрических сигналов поступают в это устройство, складываются, вычитаются, умножаются, делятся, а результаты также в виде электрических сигналов передаются другим частям машины.

Арифметическое устройство работает с огромной скоростью. Так, машина «Атлас» производит около миллиона операций в секунду; в других, более распространенных вычислительных машинах сложение или вычитание двух тридцатизначных чисел занимает 64 миллионных доли секунды. Таким образом, за секунду может быть выполнено 15 625 сложений или вычитаний! Деление и умножение занимают больше времени, и поэтому машина выполняет лишь около 500 таких операций в секунду.

В настоящее время все трудоемкие расчеты обычно выполняются электронными вычислительными машинами. Когда задача не требует большого числа арифметических операций, нет смысла производить их с такой огромной скоростью. Если бы команду для выполнения каждой операции давал оператор, то быстродействие арифметического устройства нельзя было бы использовать полностью. Чтобы вычисления производились без задержки, машина

[1] Прошло несколько лет с того момента, когда писалась эта книга. За это время преимущества транзисторов стали еще более заметными, так что к настоящему времени картина резко изменилась. Почти все новые вычислительные машины делаются на транзисторах.— ***Прим. перев.***

должна иметь заранее составленную *программу* работы, а также числовые данные для расчетов.

В сложных расчетах на различных этапах требуется использование уже ранее полученных результатов. Когда человек производит вычисления с помощью карандаша и бумаги, он обычно записывает результаты, чтобы вернуться к ним позже. Листок бумаги служит ему «внешней» памятью для хранения чисел при переходе от одной стадии вычислений к другой.

Машина при вычислениях тоже запоминает числа — она снабжена *памятью*. Эта память хранит множество двоичных чисел, и в случае необходимости можно получить любое из них. Память машины состоит из большого числа *ячеек*, каждая из которых содержит одно число.

Некоторые из ячеек заполняются соответствующими числами в начале расчета, другие — в процессе вычислений.

По командам программы определяется, из каких ячеек следует взять необходимые числа и в какие отправить полученные результаты для каждой операции, выполняемой арифметическим устройством.

В ячейках памяти содержатся также команды, составляющие саму программу. Команды представлены в виде последовательностей двоичных цифр и поэтому могут храниться в памяти точно так же, как и числа. Любая ячейка памяти в машине может содержать как команду, так и число.

Единая форма представления чисел и команд — замечательная особенность цифровых машин, которая позволяет намного лучше использовать их память, так как ячейки, не понадобившиеся для одной цели, можно использовать для другой. Таким образом, программист имеет широкую возможность применять команды, которые видоизменяются по мере прохождения программы. Для этого код команды посылается в сумматор, где к нему прибавляется некоторое число и образуется код новой команды. В большинстве программ некоторые команды проходят несколько раз; при их видоизменении указанным способом они могут быть использованы для выполнения операций, несколько отличающихся друг от друга.

На фиг. 7 приведена блок-схема цифровой машины. *Управляющий блок* координирует работу всей машины, последовательно получая из памяти по одной команде.

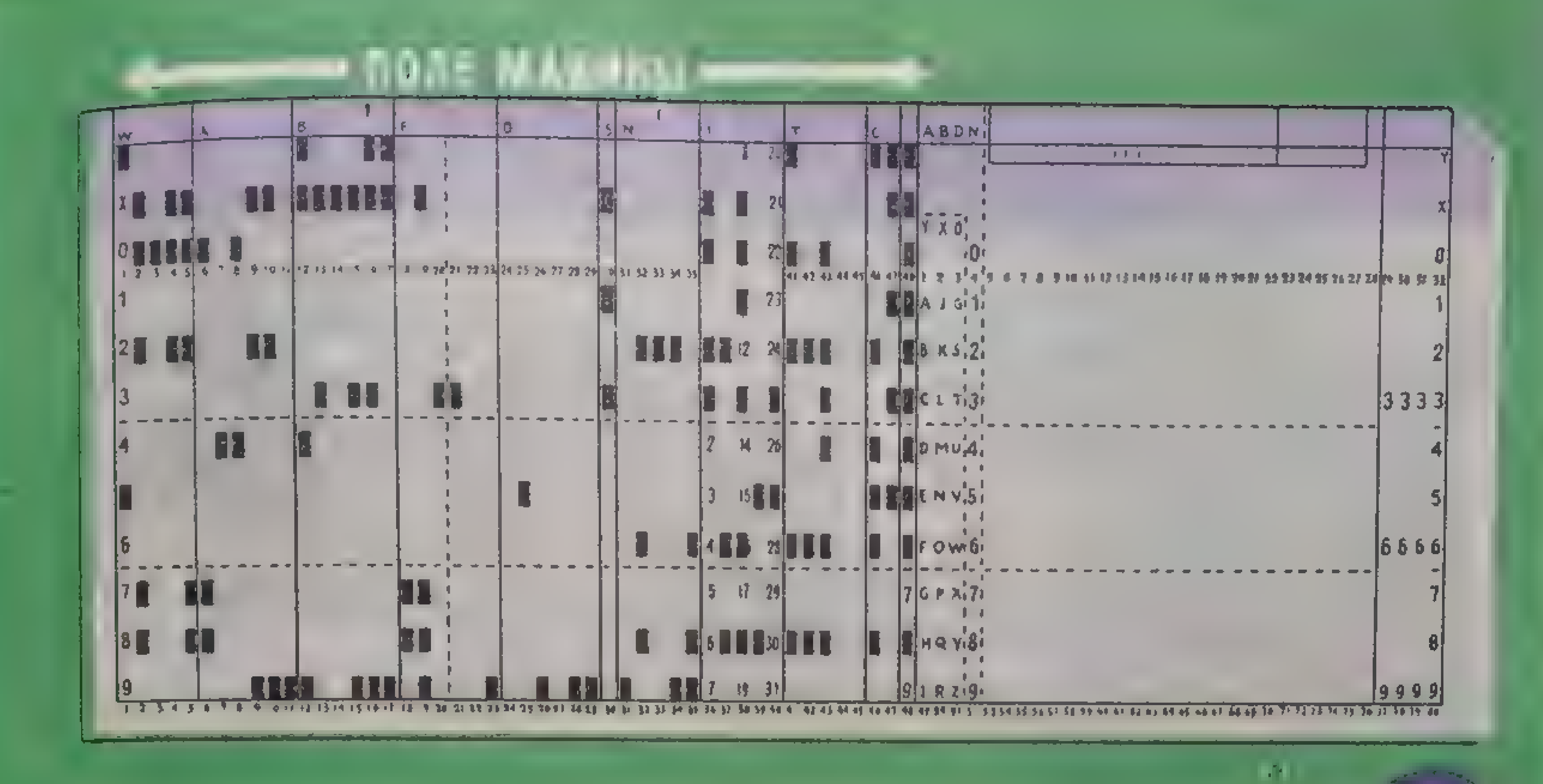
В начале вычислений программа и числовые данные считываются с перфоленты *входным устройством* и засылаются в ячейки памяти. Затем первая команда посылается в управляющий блок.

Если программа предусматривает выполнение арифметической операции, управляющий блок посылает команду арифметическому устройству произвести эту операцию. Команда направляется также в блок памяти. Она содержит номера ячеек, хранящих числа, необходимые для конкретного вычисления.

Арифметическое устройство выполняет требуемую операцию и снова отправляет результат в память. Другая команда от управляющего блока содержит номер ячейки, в которую следует поместить этот результат.

Некоторые команды программы указывают, что содержание определенных ячеек памяти должно быть зафиксировано выходным устройством на перфокарте. В этом случае управляющий блок должен послать команду не арифметическому, а *выходному устройству.*

Рассмотрим теперь более подробно некоторые принципы работы вычислительной машины, не затронутые в этом разделе.



8

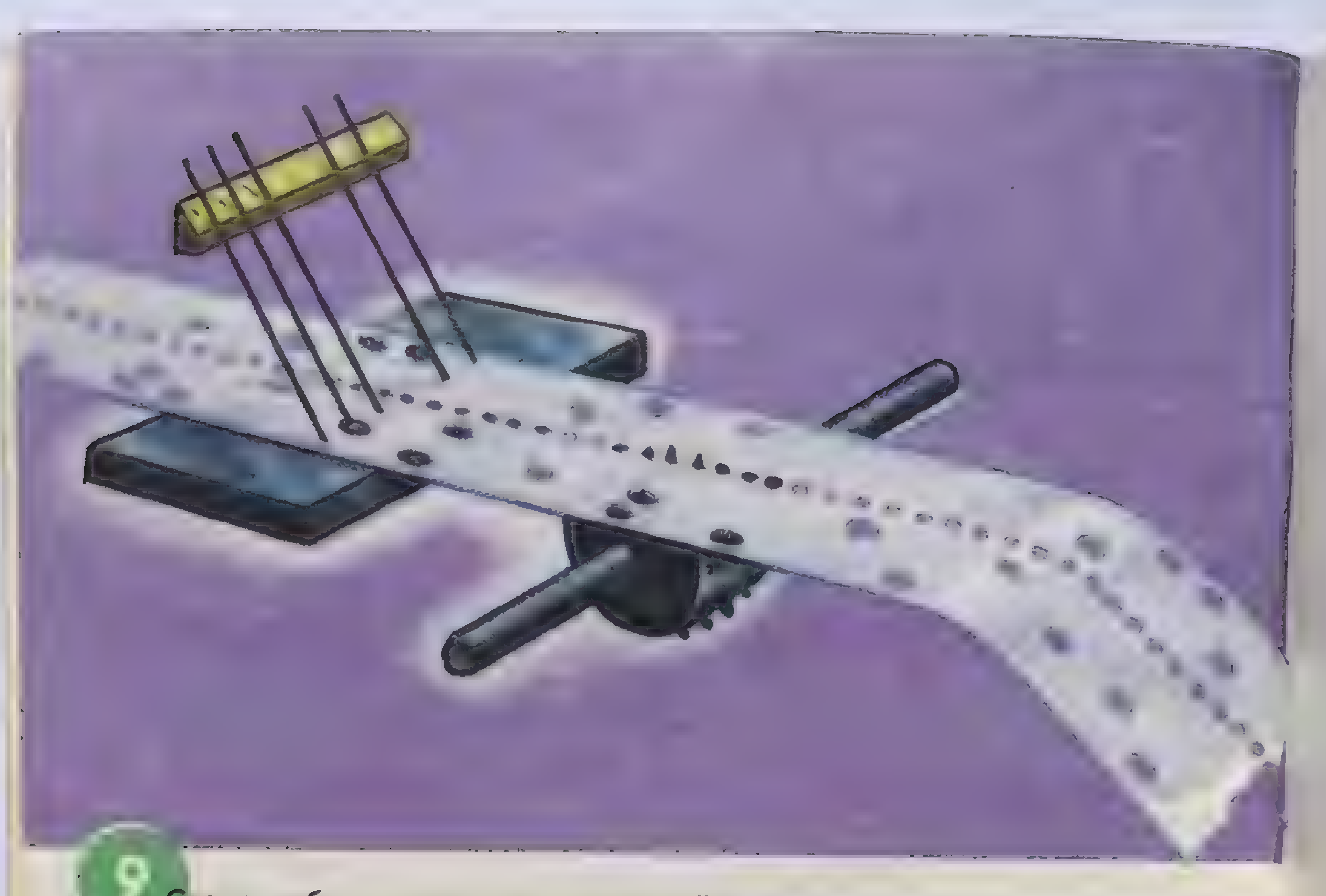
Перфокарта с пробитыми в ней командами для электронной вычислительной машины. В части перфокарты, помеченной словами «поле машины», в каждом ряду пробито по одной команде. Вертикальные линии разделяют разные части команды.

4 ЕЩЕ О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Как же записываются числа и команды на перфокартах или на перфолентах?

Перфокарта, используемая для ввода информации в автоматическую счетно-решающую машину (см. фиг. 8), имеет 12 рядов, в каждом из них может быть пробито до 80 отверстий. Следовательно, всего имеется 960 мест, каждое из которых может быть или пробито, или нет.

Место для пробивки представляет собой двоичную цифру. Она имеет значение 1, если отверстие пробито, или 0, если отверстия нет. Ряд содержит информацию, которая записывается в одной ячейке памяти машины. Перфо-



9 Схема работы считывающего устройства.

карта, изображенная на фиг. 8, предназначена для машины, в ячейке памяти которой можно записать 48 двоичных цифр, поэтому в каждом ряду только первые 48 мест для пробивки могут быть использованы для информации, посылаемой в машину. Они сосредоточены в той части перфокарты, где написано «поле машины».

Остальные места для пробивки также используются, хотя и не несут информации в машину. В этих местах обычно указывается программа, к которой относится карта, и ее положение в ней на случай, если карты окажутся перепутанными.

Отверстия перфокарты, изображенной на фиг. 8, могут представлять как числа, так и команды; иногда одни ряды отверстий соответствуют числам, а другие — командам. Надписи на карте используются, только когда пробиваются команды. Эти надписи помогают тем, кто пробивает и проверяет перфокарты, машина же воспринимает лишь соответствующее расположение отверстий.

На перфоленте, которая вводит информацию в машину (фиг. 10), имеется пять продольных рядов для пробивки отверстий. Для заполнения одной ячейки памяти требуется несколько поперечных рядов отверстий.

В зависимости от объема программы ее можно записать или на перфоленте длиной от нескольких сантиметров до нескольких метров или на пачке от семи до ста перфокарт.

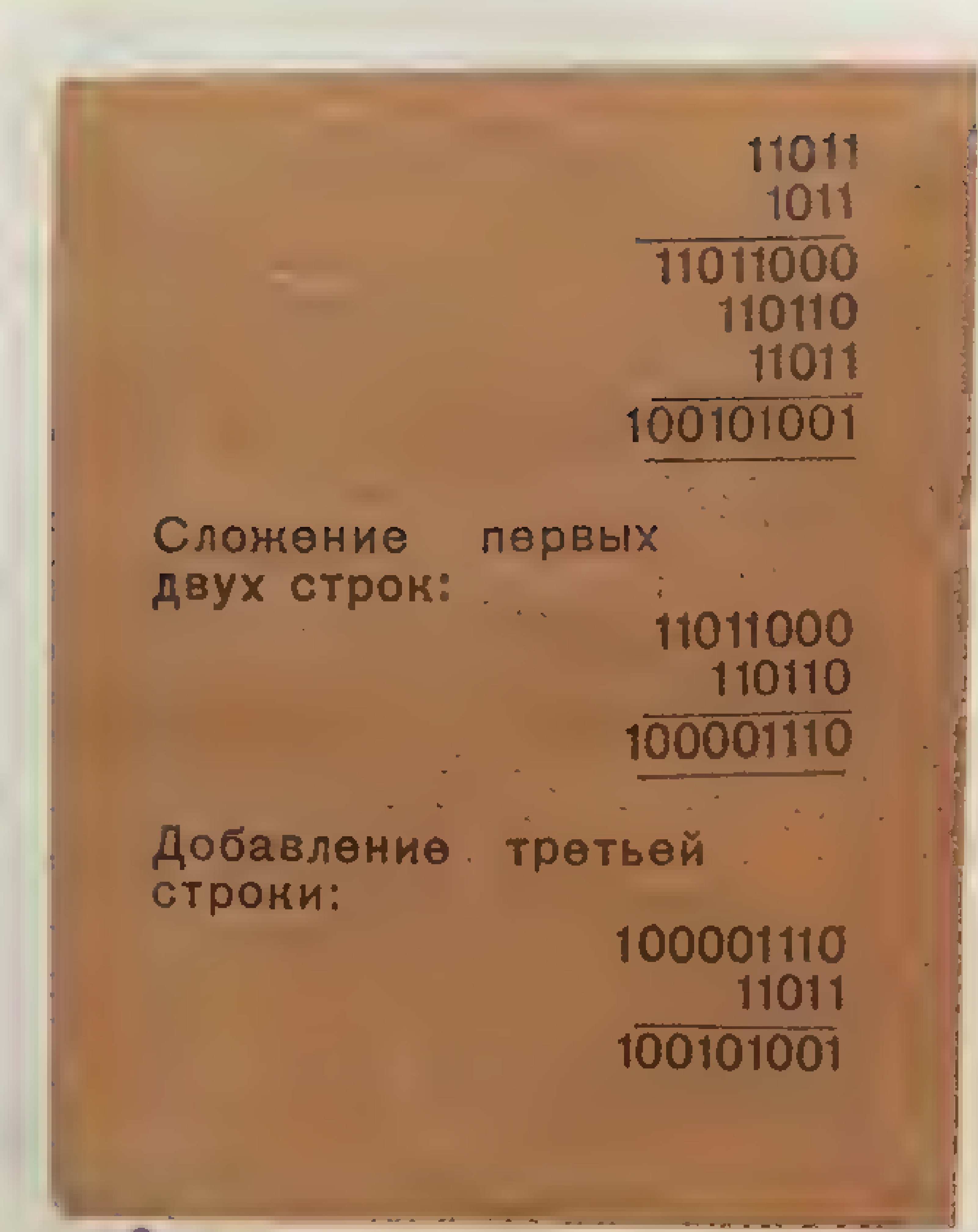
На фиг. 9 показано, как считывающее устройство преобразует информацию с перфоленты в электрические импульсы. Гибкие металлические контакты скользят по ленте. Попадая в отверстие перфоленты, контакт касается металлической пластины, находящейся под напряжением, и по нему проходит ток. Так, единица, изображаемая отверстием на перфоленте, поступает в машину в виде импульса тока. Аналогичным образом действует считывающее устройство для перфокарт, где металлические контакты «нащупывают» отверстия, правда в нем гораздо больше контактов, чем в устройстве для считывания с перфолент. Рассмотрим теперь, как работает арифметическое устройство.

Несмотря на то что арифметические операции в машине выполняются электронными схемами, методы вычислений подобны тем, которые использует человек при подсчетах с карандашом на бумаге.

При использовании двоичных цифр все правила арифметики значительно упрощаются, например, умножение больших чисел разбивается на несколько этапов, в каждом из которых производится умножение только на две цифры — 0 или 1.

Часть бумажной перфоленты с пробитой в ней программой для вычислительной машины.

10



Умножение двух многоразрядных двоичных чисел. Сложение чисел представляет некоторую трудность, которая возрастает при увеличении количества складываемых чисел. При сложении двух строк число, переносимое из разряда в разряд, никогда не бывает больше единицы, что значительно облегчает сложение.

II

В табл. II дано такое последовательное умножение двух многоразрядных двоичных чисел. Умножается число 11011 (читается «один-один-ноль-один-один», но не «одиннадцать тысяч одиннадцать»), соответствующее числу 27 в десятичной форме, на число 1011, которое равно 11 в десятичной форме. Если при проверке этого умножения у вас возникнет определенное затруднение, то запомните следующее простое правило: у двоичных чисел $1+0=1$ и $1+1=10$. Гораздо проще произвести вышеуказанное сложение в два приема, как показано в нижней половине таблицы.

Машины действуют по такому же простому принципу. Каким же образом последовательность двоичных цифр может стать командой для машины? Для этого указываются номера ячеек памяти, в которых содержатся числа, условное обозначение очередной операции над числами для арифметического блока и, наконец, соответствующие сигналы для входного и выходного устройств. Все эти сведения содержатся в команде. Рассмотрим следующий пример.

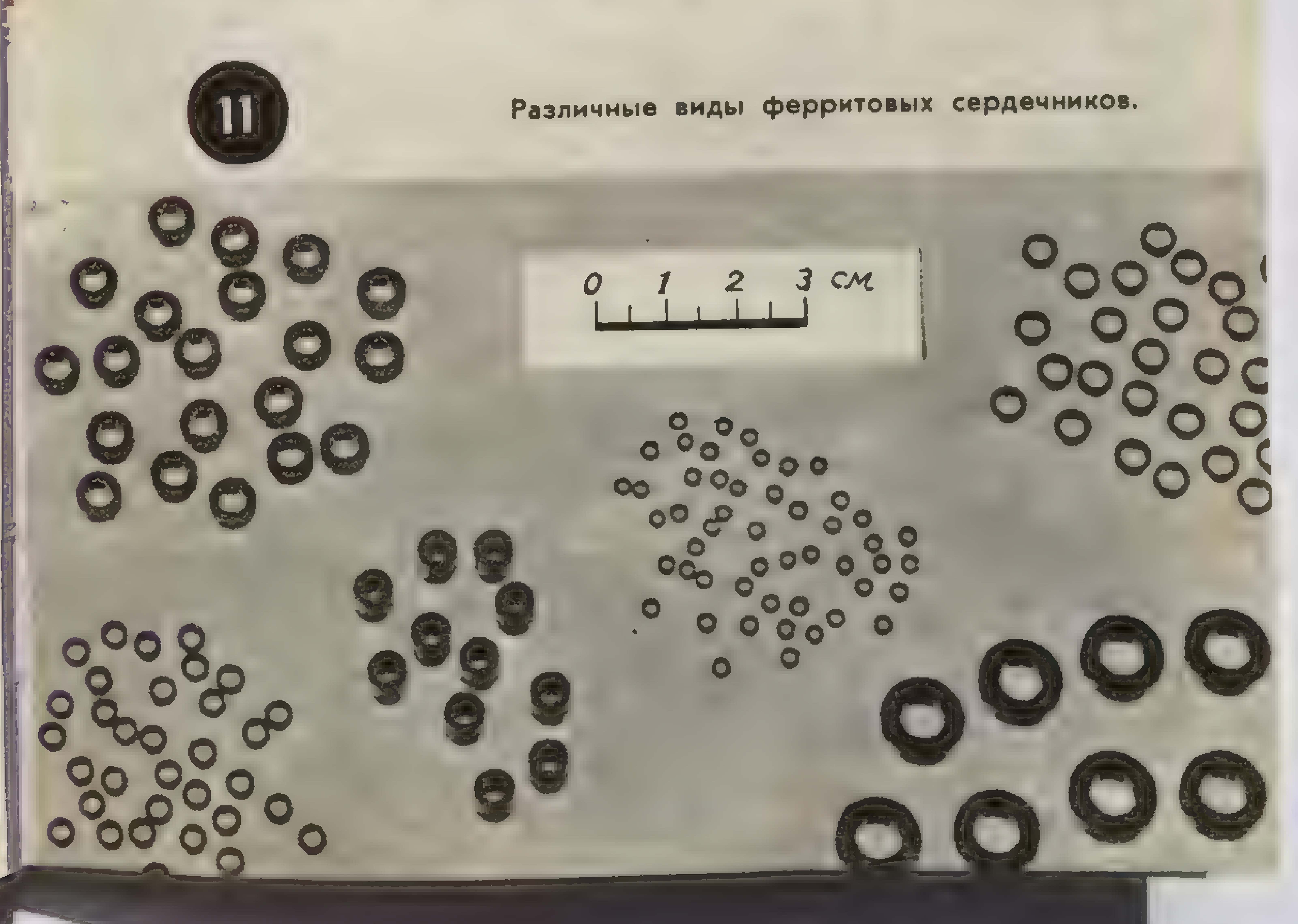
Пусть цифра 1 обозначает операцию сложения, 2 — вычитания, 3—умножения и т. д. Тогда команда 15 20 3 25 будет означать, что «нужно взять содержимое ячеек памяти 15 и 20, перемножить и результат послать в ячейку 25». Эту машинную команду, выраженную числами десятичной системы, легко представить двоичными числами.

Двоичные числа в памяти машины можно хранить различными способами. Все они основываются на свойстве некоторых *веществ* находиться в одном из двух состояний (так же как монета может лежать только «орлом» или «решкой») и переходить из одного состояния в другое быстрее чем за одну миллионную долю секунды. (Такого добиться с монетой невозможно!)

Крошечные кольца из магнитного материала, называемые *ферритовыми сердечниками,* образуют память машины (фиг. 11). Сердечником мы называем любое кольцо из магнитных материалов, широко используемых в трансформаторах.

Ферритовые сердечники намагничиваются по кругу, то есть магнитный поток течет в них по кольцу. Эти сердечники используют так, что они всегда находятся в состоянии полного магнитного насыщения, причем максимальный магнитный поток направлен то в одну, то в другую сторону. Магнитное насыщение в одном направлении принимается за 0, в другом — за 1.

11 Различные виды ферритовых сердечников.




Схема части машинной памяти, показывающая, как магнитные сердечники нанизываются на проводники. Белый проводник, проходящий через кольца — считывающий.

Фотография матрицы (составленной из магнитных сердечников) вычислительной машины.

сти ма-
памя-
вающая,
гнитные
нани-
на про-
Белый
прохо-
ез коль-
итываю-

я мат-
ставлен-
гнитных
ов) вы-
ой ма-

12

13

Пульт вычислительной машины, показанной на фиг. 2, в увеличенном масштабе.

В блоках памяти машины через отверстие ферритового сердечника проходят провода (обычно три через каждое отверстие, см. фиг. 12). Сердечник может достигнуть максимального насыщения при пропускании сквозь него достаточно сильного тока.

Когда ток пропускают в обратном направлении, то сердечник намагничивается также в противоположном направлении, и в нем происходит магнитное насыщение. Таким образом, информация может быть помещена в память на сердечниках при пропускании тока то в одном, то в другом направлении.

Каким образом происходит считывание записанной информации?

Чтобы узнать, что́ хранится в сердечнике, 1 или 0, нужно по проходящим сквозь него проводам пропустить ток таким образом, чтобы его намагничивающая сила перевела сердечник в положение 0. Если сердечник находился в этом положении, то изменения магнитного потока не произойдет, если же там раньше была 1, то магнитный поток изменится. Один из проходящих внутри сердечника проводов является считывающим; ток через него не пропускают. Если в сердечнике была записана 1, то изменение магнитного потока вызовет электрический сигнал в считывающем проводе; если в сердечнике был записан 0, то никакого сигнала не будет.

При считывании информации с магнитной памяти, образованной из ферритовых сердечников, она стирается после превращения ее в электрические сигналы. Если информацию необходимо сохранить, специальное устройство возвращает ее сразу же после считывания, и она хранится в машине для дальнейшего использования в программе.

Существуют и другие виды машинной памяти: например, магнитные барабаны (см. фиг. 1) и магнитная лента. В них при считывании информация не уничтожается и надобность в повторной записи отпадает.

Таковы способы запоминания чисел электронной вычислительной машиной. Механизм нашей собственной памяти мы рассмотрим в последующих главах.

ЧТО ДЕЛАЮТ ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ



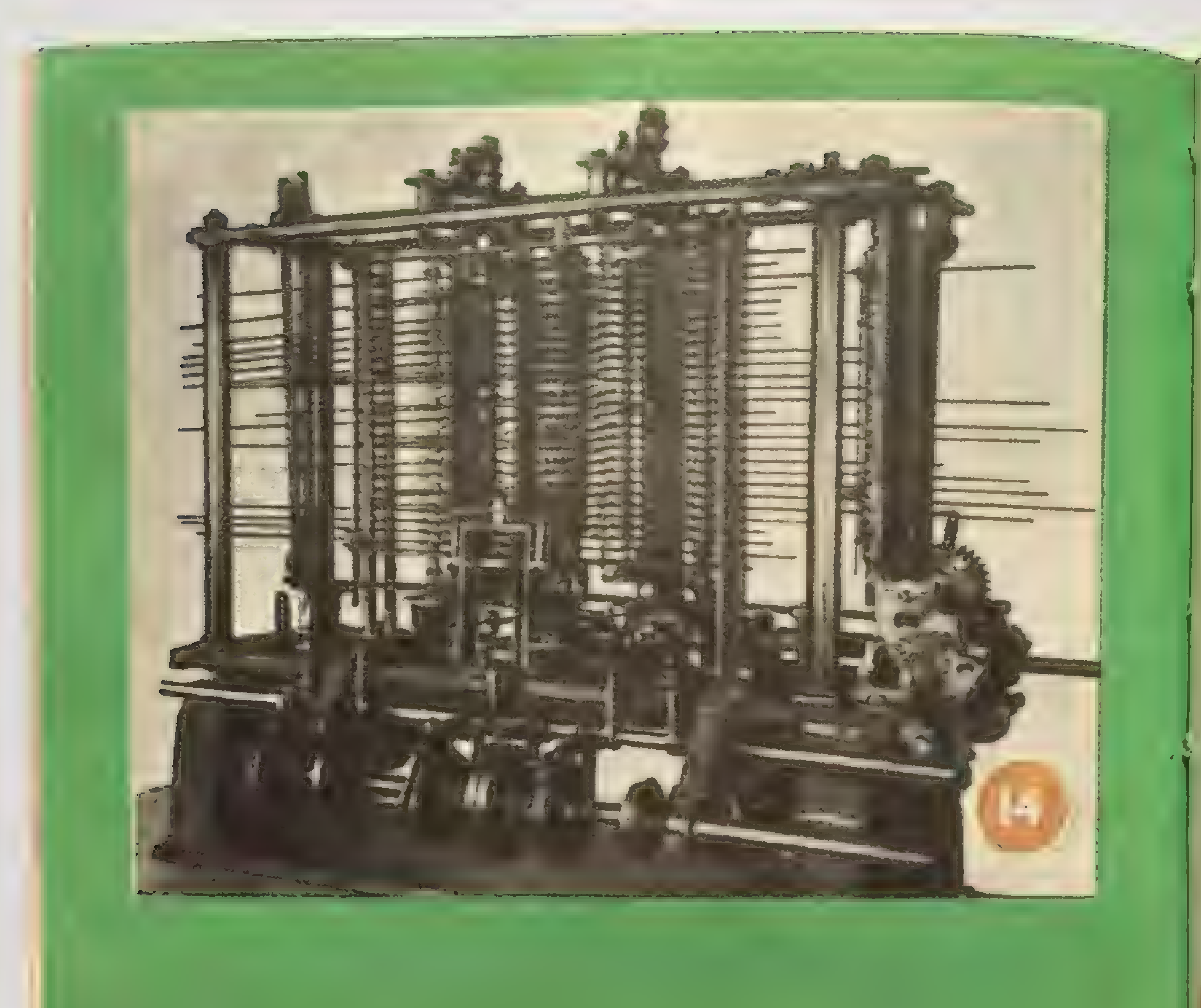
Еще в 1642 году Паскаль демонстрировал свою суммирующую машину — прообраз вычислительных машин.

Первая попытка сконструировать цифровую машину и использовать идею программирования принадлежит Чарльзу Бэббиджу. В 1840 году он разработал проект механической счетной машины, назвав ее «аналитической машиной». Самым удивительным в ней было то, что она, подобно современным машинам, была приспособлена для программирования. Эта машина так и не была построена при жизни Бэббиджа; часть ее, созданная его сыном, экспонируется в настоящее время в Лондонском музее науки.

Цифровые машины могут выполнять столь разнообразные функции, что трудно даже перечислить все области их применения. Они используются, например, и для расчета заработной платы, и для составления таблиц курсов акций, и для самых разнообразных бухгалтерских расчетов и т. п.

Подобное применение цифровых машин может показаться не очень романтичным, однако оно дает возможность сберечь огромное количество человеческого труда. Например, в британской армии вычислительная установка, рассчитывающая заработную плату, заменяет труд 600 финансовых работников. Большой интерес представляет использование вычислительных машин в науке и технике. Любые утомительные вычисления можно запрограммировать для выполнения на машине. Но, поскольку это довольно сложная процедура, иногда целе-

3 Заказ 115



Узел аналитической механической машины Бэббиджа.

сообразнее производить вычисления иным путем. Вычислительная машина приносит пользу больше всего там, где одни и те же расчеты должны быть выполнены многократно по одной и той же программе, но с различными числовыми данными, как, например, при расчете заработной платы рабочих завода или при составлении математических таблиц.

Иногда машина производит вычисления так же, как и человек-вычислитель, хотя и намного быстрее. Машина может решать задачи методами, практически не приемлемыми для человеческого мозга. Например, так называемый *метод Монте-Карло* применяется в задачах, которые обыч-

но нельзя решить за разумный отрезок времени, не используя электронную вычислительную машину. В частности, он используется в ядерной физике при проектировании ядерных реакторов, где часто бывает необходимо рассчитать, как нейтроны или другие ядерные частицы проходят сквозь твердое вещество. Это далеко не простая задача, поскольку нейтроны сталкиваются с атомами твердого вещества, изменяя при этом направление своего движения.

Расстояние, которое пролетит нейтрон между столкновениями, и направление, по которому он полетит после этого, так же трудно предсказать, как числа, на которых останавливается колесо игральной рулетки. Одну из возможных траекторий воображаемой частицы в твердом веществе мы можем вычертить, пользуясь колесом рулетки (или игральными костями). Причем сначала можно определить, как далеко пролетит частица до своего первого столкновения, затем направление ее движения после него, потом расстояние до второго столкновения и т. д. Вероятность предсказанной траектории воображаемой частицы будет в точности равна вероятности траекторий действительной частицы.

III

ТЕЛЕГРАФНЫЙ КОД

Способ кодирования букв двоичными числами

БУКВА	ДВОИЧНОЕ ЧИСЛО	БУКВА	ДВОИЧНОЕ ЧИСЛО
A	11000	N	00110
B	10011	O	00011
C	01110	P	01101
D	10010	Q	11101
E	10000	R	01010
F	10110	S	10100
G	01011	T	00001
H	00101	U	11100
I	01100	V	01111
J	11010	W	11001
K	11110	X	10111
L	01001	Y	10101
M	00111	Z	10001

Изобразить траекторию только одной частицы — это, конечно, очень немного, так как при повторении процесса вычислений результаты окажутся совсем другими. Однако если мы изобразим траектории 1000 или 10 000 воображаемых частиц, то можно рассчитать в среднем, какая доля нейтронов, образовавшихся в одной части реактора, достигнет другой его части.

Методом Монте-Карло можно пользоваться и без вычислительной машины; в действительности же это делают очень редко, поскольку такой метод весьма трудоемок. Если бы не было быстродействующих вычислительных машин, приходилось бы пользоваться другими методами при проектировании ядерных реакторов, и тогда во многих случаях были бы получены только приблизительные результаты. Таким образом, это как раз тот случай, в котором применение машины дает возможность использовать совершенно новый подход к решению задачи.

Цифровая машина не имеет встроенного колеса рулетки, но она может работать по программе, составленной для вычисления случайных чисел иными путями. Эти числа не являются случайными в строгом смысле этого слова, потому что при повторении программы мы получим ту же самую последовательность «случайных чисел», что и в первый раз.

Метод Монте-Карло применяется не только при проектировании ядерных реакторов, но и в других случаях, например при анализе методов управления уличными светофорами. Вычислительная машина может использовать случайные числа, чтобы моделировать появление автомобилей на перекрестках. Тогда легко определяется среднее время простоя автомобилей на перекрестках при различной интенсивности уличного движения и разных системах регулирования.

Первоначально вычислительные машины были разработаны для выполнения сложных числовых расчетов, но они могут использоваться и для решения нечисловых задач.

Один из таких хорошо известных примеров нечисловых применений — машинный перевод с одного языка на другой. Настоятельная потребность в машинном переводе возникла в последние годы, когда ученые на Западе поняли, как много важных научных работ проводится в Советском Союзе. Русские ученые также стремятся получить



15

Блоки памяти на магнитной ленте. Запись и считывание информации производится устройством, расположенным под катушками с магнитной лентой. Свободно висящие петли ленты исключают необходимость точного синхронного вращения катушек при протягивании ленты через устройство записи и считывания.

переводы работ, опубликованных на английском и других языках. На переводческой работе занято множество людей, и все же литературы так много, что переводчиков не хватает.

Проведено очень много работ по составлению машинных программ для перевода с одного языка на другой. Однако еще нигде в мире не создан большой машинный комплекс для перевода, хотя, несомненно, такие комплексы скоро появятся.

Машина, используемая для перевода, должна быть приспособлена для обращения с различными словарями, например с русским и английским. Перевести английский словарь в телеграфный код (табл. III) не составляет большого труда. Подобный же код, конечно, должен быть использован и для русского алфавита.

Для записи всего объема какого-либо словаря потребуется память очень большой емкости. Такой памяти нет даже в больших машинах, поэтому обычно словарь записывается на магнитную ленту и хранится в специальных *блоках памяти*, соединенных с вычислительной машиной (фиг. 15). Машина может «просматривать» словарь, посылая сигнал, включающий механизм перемотки ленты с одной катушки на другую, пока требуемый участок ленты не попадет на считывающую головку. Содержание этого участка ленты считывается и посылается в машину.

Очевидно, что перевод с одного языка на другой вовсе не сводится к отысканию в словаре каждого слова. Машина должна также учитывать структуру предложения и правила грамматики обоих языков. Известную трудность представляют слова, имеющие больше одного значения. Однако уже существуют программы для машин, учитывающие структуру предложения, а затруднения с многозначностью слов не так уже велики, если ограничиться переводом научных статей. Выше упоминалось также о том, что вычислительные машины могут применяться для игры в шахматы и для доказательства теорем геометрии. Этот аспект применения машин будет рассмотрен в следующей главе.

Другое весьма важное применение вычислительных машин — подготовка собственных машинных программ.

Составление программ для машин — очень трудоемкое занятие, отнимающее у программистов недели и даже месяцы. Написание программы в специфической форме, в

которой она используется в памяти машины, называется «программированием на машинном языке». Обычно вычисления, которые должны быть запрограммированы, сначала записывают на обычном математическом языке, который затем программист переводит на язык машины.

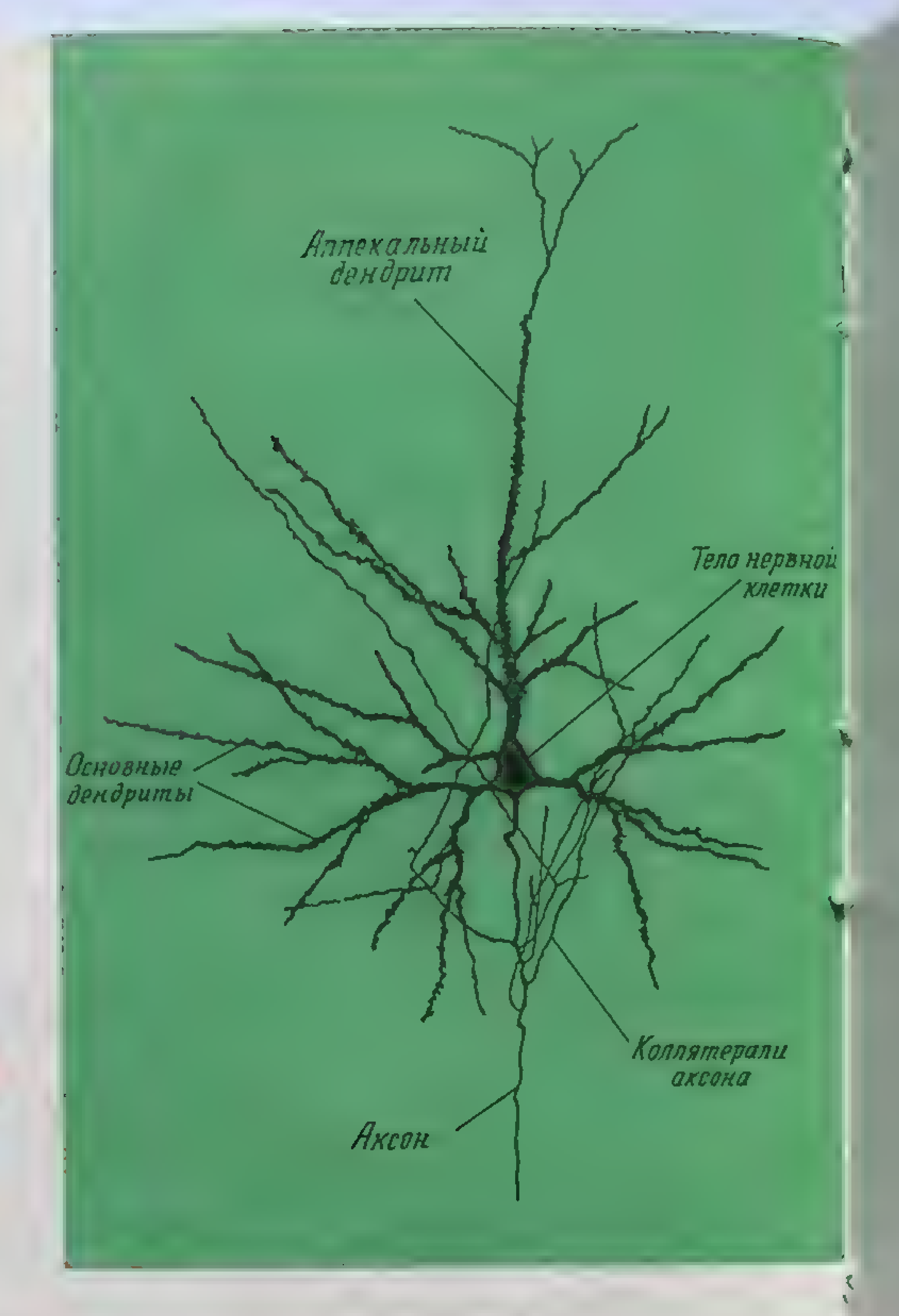
Конечно, если машина сама выполняет перевод на машинный язык, то на программирование затрачиваются значительно меньшие усилия. Большинство современных машин имеет системы автоматического программирования (или системы программирующих программ). Правда, ни одна из этих систем не разработана еще настолько, чтобы можно было сразу же использовать обычный математический язык, однако задачи предварительно записываются на языке, больше похожем на математический, чем на машинный.

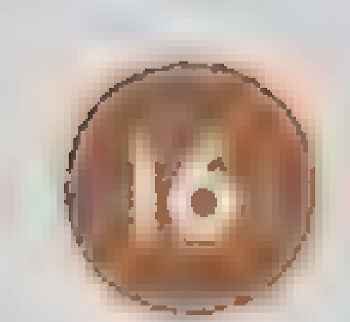
В случае применения программирующих программ условия задачи также необходимо переводить в специальную форму, но при этом потребуется лишь один или несколько часов, а не недели, как при программировании на машинном языке. Подготовленная программа переносится на бумажную перфоленту и вводится в машину вместе с очень сложной программой, называемой *транслятором*. (Программа-транслятор составляется индивидуально для каждого типа машины.) Затем машина сама составляет и печатает требуемую программу на машинном языке, приспособленном для повторного ввода в машину.

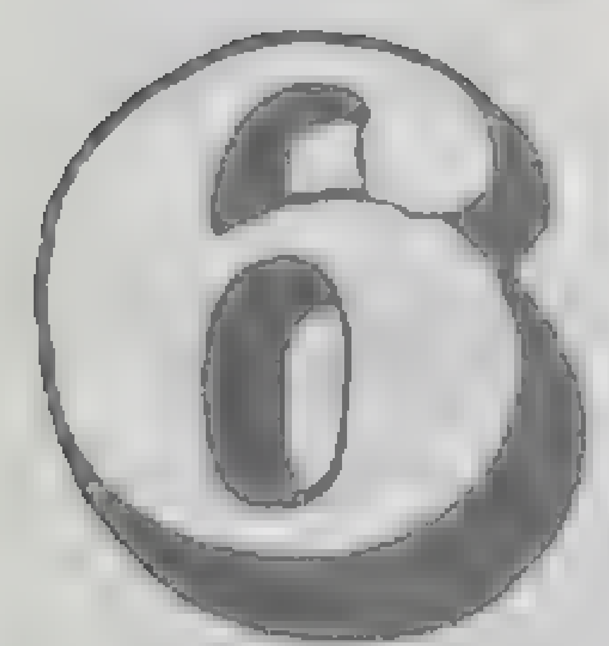
Большая часть методов автоматического программирования предназначена непосредственно для программирования цифровых операций, хотя они могут быть использованы и для нечисловых задач. Однако лучшие результаты получают при использовании методов, предназначенных исключительно для решения этих задач на основе специально разработанных систем автоматического программирования, называемых *языками переработки информации*.

В последующих главах мы снова вернемся к описанию работы машин, а теперь перейдем к рассмотрению человеческого мозга.

Микрофотография одной из нервных клеток головного мозга кошки. Аксон имеет ответвления, переплетающиеся с дендритами той же клетки.







НЕРВНАЯ СИСТЕМА

В человеческом организме информация передается из одной части в другую двумя способами: во-первых, с помощью особого рода веществ, переносимых кровью и называемых гормонами, во-вторых, посредством нервных импульсов.

Гормоны используются для передачи одной и той же информации различным частям человеческого организма. Например, когда человек подвергается опасности одна из желез выделяет гормон адреналин, подготавливающий организм к охранительным функциям. Под воздействием адреналина тонкие кровеносные

сосуды в различных частях тела, особенно кровеносные сосуды кожи, сжимаются и ток крови в них уменьшается. Это освобождает больше крови для выполнения главной задачи — снабжения сахаром и кислородом мышц, которые при необходимости должны будут подвергнуться большому напряжению.

Одновременно печень реагирует на адреналин и выделяет в кровь больше сахара — источника энергии, необходимой для мышечного сокращения.

Однако гормоны используются в качестве носителя информации только в ряде специфических случаев. Нервная же система пропускает значительно больше информации. Головной и спинной мозг образуют центральную нервную систему, которая связана отходящими от нее нервами со всеми частями организма. Нервы похожи на белые нити и содержат очень много волокон, заключенных в защитную оболочку (от нескольких сот в наиболее тонких нервах до многих тысяч в прочих).

Любой живой организм состоит из клеток, и в каждом организме (за исключением низших форм) разные виды клеток выполняют различные функции. Так, в человеческом теле костные клетки обеспечивают жесткость, нервные клетки служат специально для передачи возбуждения и т. д. Мембрана, в которую заключена нервная клетка, может возбуждаться. Если через нее пропустить электрический ток достаточной силы, она мгновенно переходит из состояния покоя в состояние возбуждения и какое-то небольшое время остается в этом состоянии. Изменения, происходящие в возбужденной части мембраны, имеют довольно сложный характер. Они обладают той особенностью, что индуцируют электрический ток, который в свою очередь возбуждает соседние участки мембраны. Таким образом, как только какой-то участок поверхности нервной клетки подвергается возбуждению, оно быстро распространяется по всей поверхности. Это явление и обеспечивает передачу информации.

В нервной клетке существует также другой механизм передачи информации. От ее центральной части, называемой телом клетки, и от нервных волокон отходят тонкие ответвления (см. фиг. 16); они, как и остальная часть клетки, заключены в мембрану. поэтому возбуждение может распространяться и по ним. Эти ответвления позволяют нервной клетке держать связь на гораздо большие

расстояния и со значительно большим числом клеток, чем если бы она состояла только из центральной части.

Каждая нервная клетка снабжена специальным отростком, называемым *аксоном*. Он играет роль выходного канала, по которому передается возбуждение. Другие отростки называются *дендритами*. Нервные волокна фактически состоят из аксонов нервных клеток и достигают иногда фантастической длины, если учесть, что это отростки нервных клеток. Например, тело нервной клетки находится в спинном мозге человека, а ее аксон достигает мышц пальцев ноги и имеет длину около метра. Подобный аксон представляет собой невероятно тонкую трубку. Если бы мы захотели сделать модель аксона в большом масштабе в виде шланга для поливки сада, т. е. диаметром два сантиметра, то его длина оказалась бы больше восьми километров!

Передача возбуждения по нервным волокнам весьма сильно отличается от передачи электрического сигнала по проводам. Сигналы в нервных волокнах состоят из серии импульсов, которые в виде волны возбуждения распространяются по ним. Все импульсы имеют одинаковую величину и не ослабевают при прохождении по нервному волокну. Скорость их распространения различна — примерно от двухсот километров в час для толстых волокон (диаметр которых немногим меньше четверти миллиметра) до одного километра в час для тончайших.

Хотя нервные волокна не просто электрические проводники, электричество играет существенную роль в нервном возбуждении.

Нервное волокно может быть возбуждено в любой точке при пропускании через него электрического тока; возникающий при этом импульс не отличается от импульса, возникающего естественным путем. Прохождение нервного импульса можно проследить с помощью электронной аппаратуры. Ученые, исследующие работу нервной системы, широко используют электрические свойства нервных волокон.

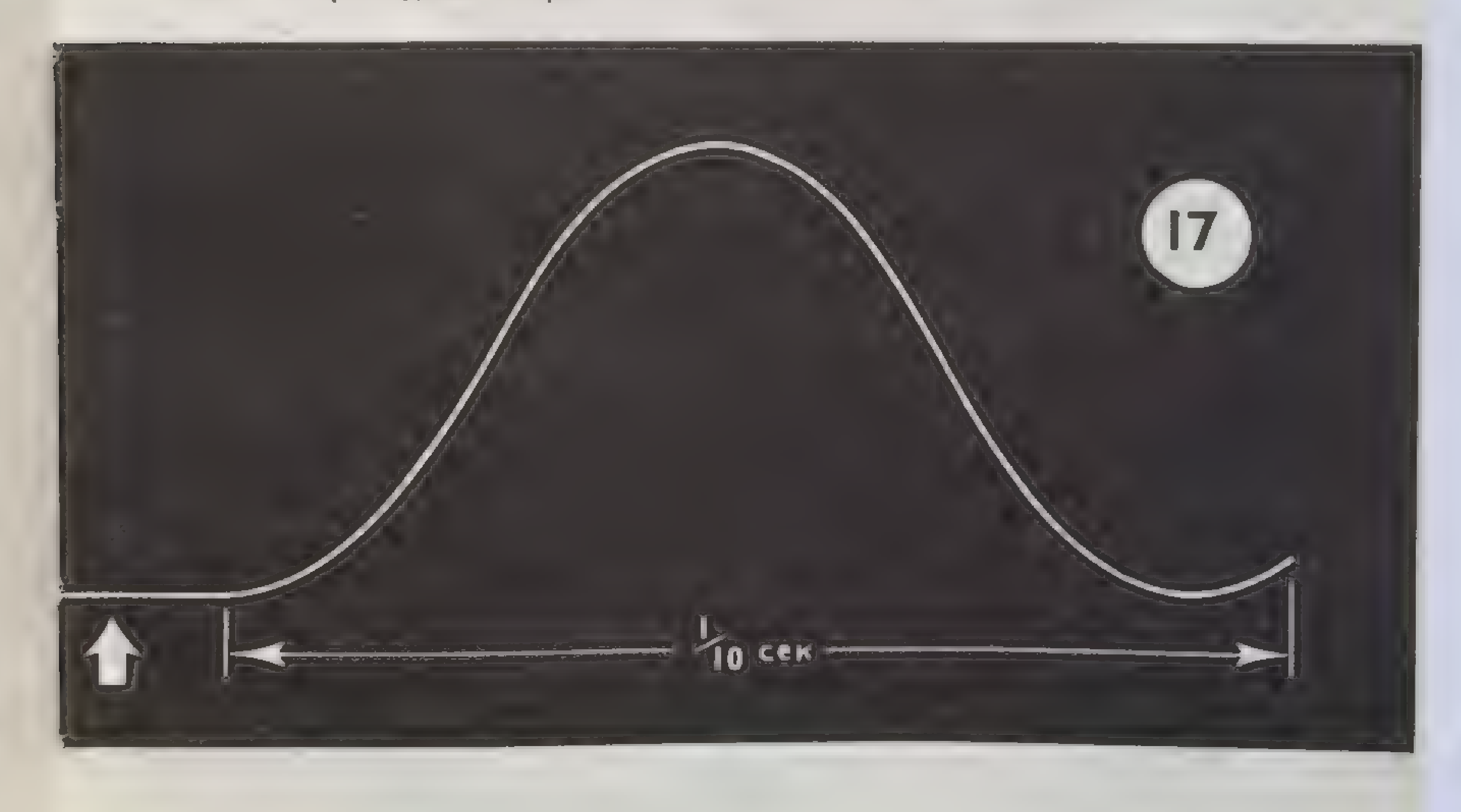
На фиг. 18 показана схема простого опыта по возбуждению нервных волокон электрическим током. У лягушки выделяют икроножную мышцу с подходящим к ней нервом. Один конец мышцы закрепляется булавкой на корковой пластине, а от другого нить идет к рычагу. К этому же рычагу крепится легкая стрелка, кончик кото-

рой слегка касается вращающегося барабана, обернутого закопченной бумагой; кончик стрелки, царапая по бумаге, прочерчивает белую линию. К нерву присоединены два электрода, и когда ток пропускается через часть нерва, находящегося между электродами, волокна в нерве возбуждаются. Возбуждение передается мышце, которая, сокращаясь, перемещает стрелку, и на закопченной бумаге остается запись сокращения (см. фиг. 17).

Знаменитый немецкий ученый Герман Гельмгольц первым измерил скорость распространения нервного импульса. В 1852 году он построил установку, подобную приведенной на фиг. 18, в которой было две пары электродов на разном расстоянии от мышцы, и нерв мог возбуждаться каждой парой электродов (см. фиг. 19). Гельмгольц обнаружил, что интервал времени между электрическим импульсом и сокращением мышцы возрастает при увеличении расстояния от электродов до мышцы (фиг. 20).

Измеряя разницу в интервалах времени и расстояние между двумя точками приложения возбуждения, Гельмгольц смог вычислить скорость распространения нервного импульса. До его опытов считали, что нерв передает информацию практически мгновенно.

Запись сокращения мышцы, полученная на установке, схема которой дана на фиг. 18 и 19.



Установка для записи сокращения мышцы при электрическом раздражении нерва. Мышца погружена в специальный раствор, нерв же вынут из него, чтобы не произошло короткого замыкания при раздражении током.



Вариант установки, показанной на фиг. 18, для измерения скорости распространения импульса в нерве (см. также фиг. 21).



. 18, для
мпульса в

Установка для записи сокращения мышцы при электрическом раздражении нерва. Мышца погружена в специальный раствор, нерв же вынут из него, чтобы не произошло короткого замыкания при раздражении током.



Вариант установки, показанной на фиг. 18, для измерения скорости распространения импульса в нерве (см. также фиг. 21).

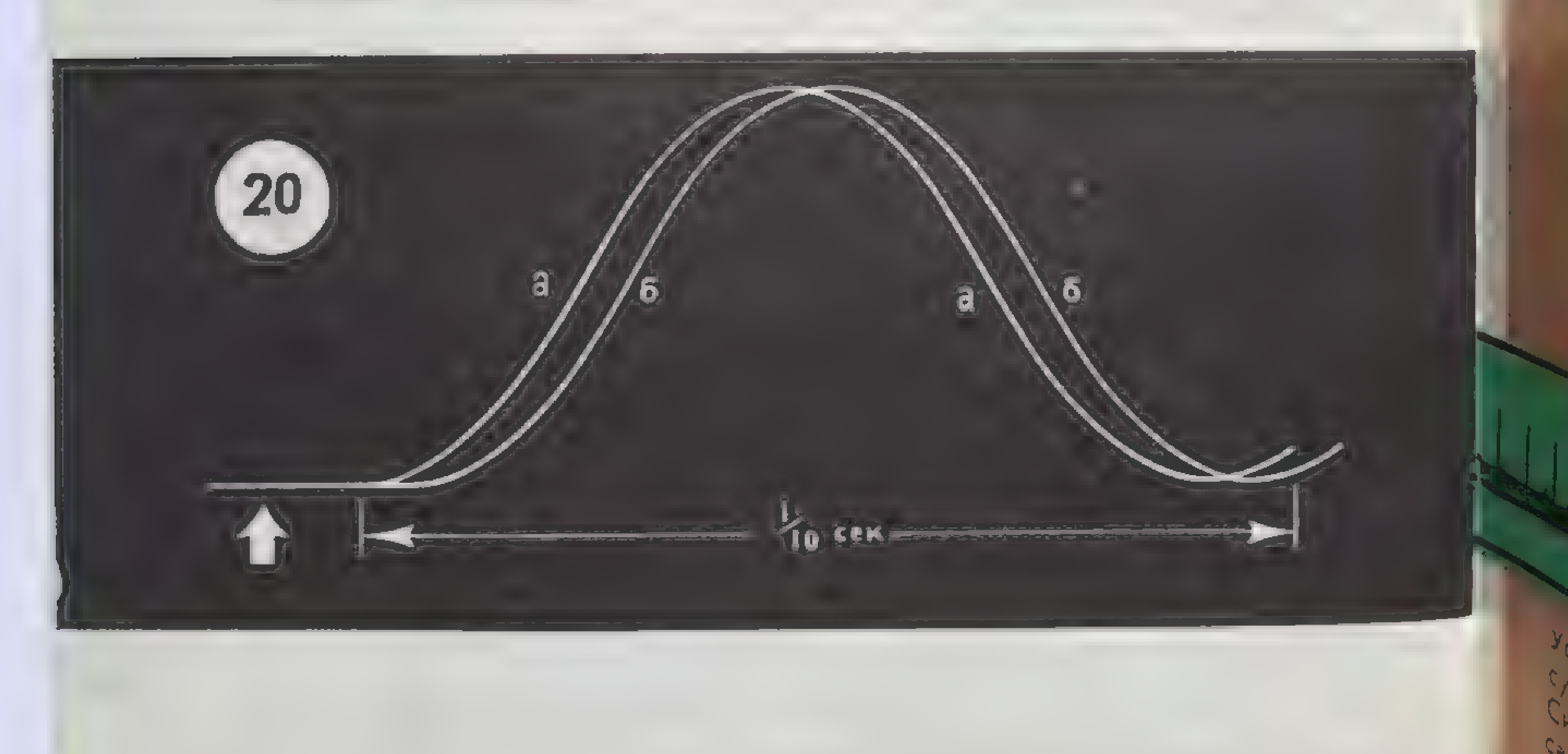
19

В наше время использованные Гельмгольцем методы кажутся весьма грубыми. Теперь электронная аппаратура позволяет определить и записать электрическую активность нервного волокна одного нейрона при распространении импульса. Например, Бойд и Робертс из Глазго использовали новую методику в своих работах по изучению сенсорных нейронов коленного сустава кошки.

Коленный сустав имеет крошечные чувствительные окончания, которые посылают в центральную нервную систему информацию о том, насколько он согнут. Чтобы исследовать работу этих органов, Бойд и Робертс удалили у кошки мозг под местным наркозом, исключив тем самым возможное влияние боли. Верхняя часть лапы закреплялась неподвижно, а нижняя — с помощью различных механических приспособлений могла сгибаться под различным углом (фиг. 21).

Нерв, идущий от чувствительных окончаний коленного сустава, располагался на двух электродах, которые могли обнаруживать сигналы в этих органах. Сигналы увеличивались очень чувствительным усилителем и затем записывались. Часть этой записи показана на ленте *А* (фиг. 21). Запись электрической активности нерва вос-

Записи сокращений мышцы при раздражении током, проходящим через электроды *а* и *б*. Подача (фиг. 19) импульсов синхронизирована с вращением барабана, так что начало записи в обоих случаях совпадает друг с другом и с моментом подачи раздражающего импульса тока. Расхождение в записях для наглядности дано в большом масштабе.





Установка Бойда и Робертса для записи активности нерва коленного сустава кошки.
Сигнал, полученный от неотпрепарированного нерва. Жирная полоса с пиками отражает активность нерва. Вторая кривая — запись движения сустава.
Сигнал, записанный с отдельного нервного волокна.

произведена жирной горизонтальной линией с пиками. Движение сустава отображено второй линией.

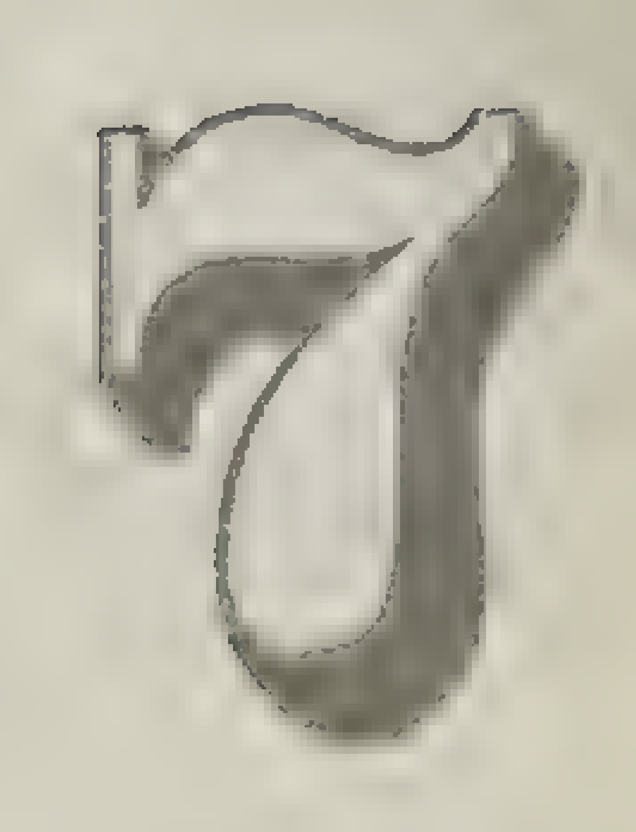
Сигналы, возникающие в нерве, очень сложны, так как он состоит из значительного числа отдельных волокон, несущих сигналы от различных окончаний. Бойду и Робертсу удалось разделить нерв под микроскопом, что позволило им отличать сигналы в различных волокнах.

Одна из таких записей показана на ленте *Б* (фиг. 21). Большие импульсы имеют одну и ту же амплитуду; это импульсы активности нервного волокна, идущего от определенного чувствительного окончания. Частота импульсов меняется в зависимости от угла сгиба сустава и достигает весьма большой величины, когда сустав находится в движении.

Сделав множество подобных записей и изучив их, Бойд и Робертс установили механизм прохождения сигналов от чувствительных окончаний коленного сустава в нервную систему.

Это один из экспериментов, который позволил понять, как функционирует нервная система. Другие части нервной системы также подвергались исследованию, и теперь известно, что нервные клетки человека обладают свойствами, аналогичными тем, которые были обнаружены на подопытных животных. Однако принцип работы головного мозга в значительной мере еще остается загадкой.

ГОЛОВНОЙ МОЗГ



Живой мозг находится в состоянии постоянной нервной активности. Поместив электроды на коже головы человека и соединив их с соответствующим усилителем, мы обнаружим изменения электрического потенциала. Эти изменения обусловлены деятельностью мозга, несмотря на то что чувствительные датчики отделены от него кожей, мышцами и костями черепа.

Запись этих колебаний потенциала называется электроэнцефалограммой. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) изменяется в зависимости от состояния, в котором находится испытуемый,— отдыхает ли он или решает сложную задачу— и приобретает совершенно особый вид, когда человек спит (фиг. 22). Изучая ЭЭГ, врачи могут получить полезную информацию о деятельности мозга больного; такие записи делаются в больницах всего мира. Процедура снятия ЭЭГ совершенно безвредна для человека. Электроды представляют собой проволочки с металлическими бусинками на концах, закрепляемыми на черепе специальными присосками.

Хотя ЭЭГ и имеет большую ценность для врачей, она не может раскрыть принцип работы мозга. Поскольку электроды располагаются на некотором расстоянии от мозга, каждый из них подвергается воздействию многих тысяч нервных клеток. Электрическая активность мозга человека или животного также записывалась при помощи вживленных в мозг электродов. (Эта операция совершенно безболезненна, так как в самом мозге нет чувствительных

4 Заказ 115



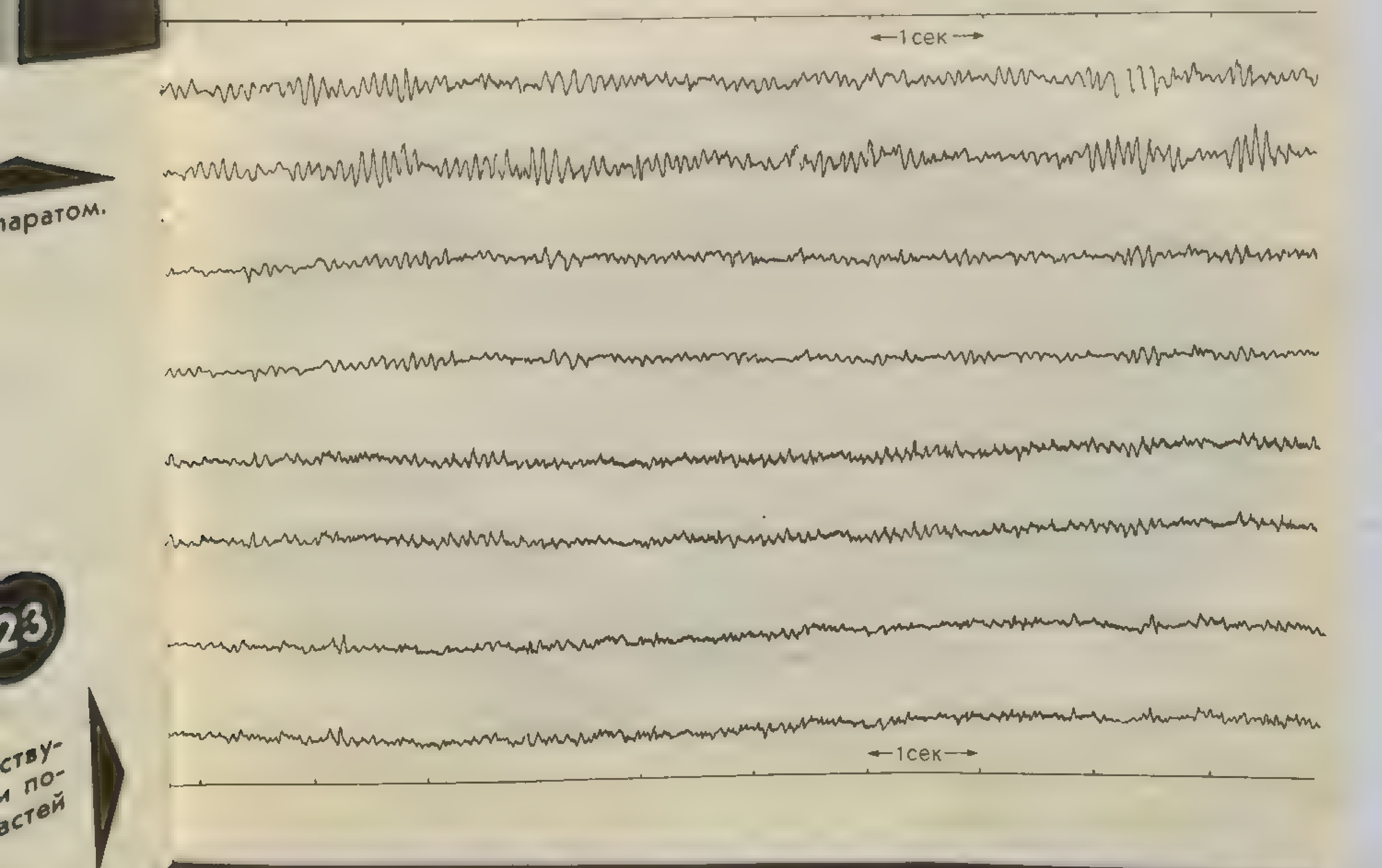
22 Снятие электроэнцефалограммы восьмиканальным аппаратом.

23 Отрывок записи ЭЭГ здорового бодрствующего человека. Приведенные графики показывают деятельность различных областей головного мозга.

клеток.) Однако мозг настолько сложен, что в действительности о его работе мы пока мало что знаем. Раскрыть принципы работы мозга — одна из труднейших задач современной науки.

Многие нервные клетки мозга имеют длинные аксоны, которые составляют нервные волокна, связывающие различные области головного мозга со спинным. Как головной, так и спинной мозг содержат белое и серое вещество. Белое вещество состоит из нервных волокон, а серое — из тел нервных клеток. В спинном мозге серое вещество окружено белым веществом. Серое вещество содержит тела нервных клеток, аксоны которых распространяются в белом веществе вверх и вниз, а также тела нервных клеток, аксоны которых протянулись от спинного мозга к мышцам (см. фиг. 24).

В головном мозге серое вещество образует на большей части его поверхности слой толщиной в два или три миллиметра. На каждый квадратный миллиметр поверхности этого слоя, называемого корой головного мозга, приходится около 20 000 нервных клеток. Есть основания полагать, что именно эта часть мозга выполняет функцию мышления.





Часть спинного мозга.

Одни клетки коры головного мозга имеют длинные аксоны, которые проникают в белое вещество и сообщаются с различными частями мозга, другие же имеют короткие аксоны для передачи возбуждения клеткам внутри самой коры. Все эти нервные клетки имеют разветвленную сеть дендритов (см. фиг. 26). Аксоны и дендриты различных нервных клеток переплетаются и соединяются во многих точках. Через эти контакты, называемые *синапсами*, может передаваться возбуждение от аксона одной нервной клетки к дендриту другой.

Для возбуждения нервной клетки недостаточно импульса, приходящего только к одному из синапсов клетки, — необходимо почти одновременное воздействие импульсов на несколько синапсов дендритов этой клетки. Возбудившись, нервная клетка может передавать возбуждение другим нервным клеткам через синаптические соединения, которые образуют ее аксоны с дендритами других клеток.

Синапсы, через которые в клетку поступают возбуждающие импульсы, называются *возбуждающими*. Существует также другой вид синаптических соединений, в которых при поступлении сигнала возникает противоположный эффект, то есть клетка становится менее чувствительной к возбуждению. Такие виды соединений называются *тормозящими* синапсами.

Каждый квадратный миллиметр коры головного мозга содержит тысячи аксонов, соединяющих ее через белое вещество с другими частями мозга. Многие аксоны клеток коры несут из нее информацию; аксоны же клеток, не принадлежащих коре, образуют синаптические связи с ее

ЗРИТЕЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ

ДВИГАТЕЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ

ЛОБНАЯ ОБЛАСТЬ

ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ

СЛУХОВАЯ ОБЛАСТЬ



Головной мозг человека (вид сбоку).

26

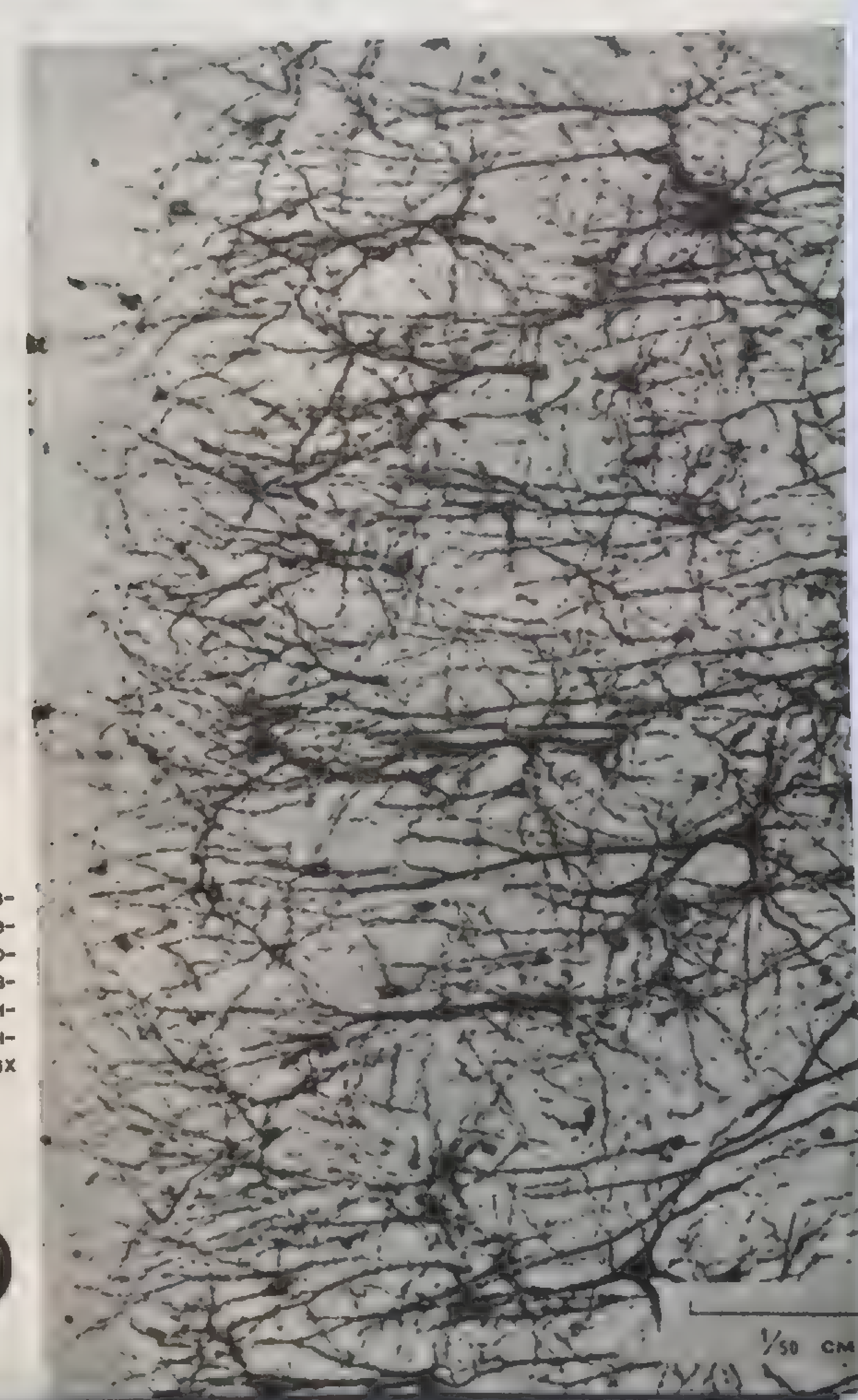
Нервная клетка коры головного мозга кошки. На заднем плане видны соседние клетки.

нервными клетками. Таким образом, кора имеет множество путей для входа и выхода информации.

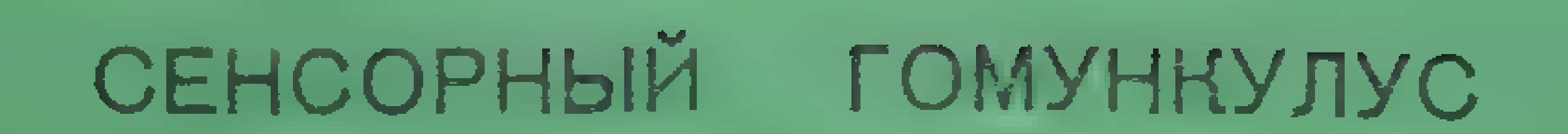
Теперь можно наглядно представить себе картину строения коры: это масса нервных клеток с огромным количеством дендритов и аксонов, переплетенных между собой и образующих многочисленные соединения. На фиг. 27 приведена фотография чрезвычайно тонкого слоя коры, сделанная в Лондонском университете Д. А. Сколлом. Кора была специально обработана для придания ей твердости, что позволило сделать срез. Окрашиванию подверглись лишь некоторые нервные клетки; если бы они все были окрашены, то фотография представляла бы сплошное черное пятно!



Поверхность головного мозга (за исключением некоторой части его внутренней поверхности), т. е. его кора, покрыта множеством глубоких борозд. Оказывается, что полная площадь поверхности мозга примерно в три раза больше поверхности мозга без борозд. При изучении мозга различных животных было обнаружено, что чем больше извилин на поверхности мозга, тем более развит этот вид животного.



Окрашенные нервные клетки в срезе коры головного мозга. Окрашено приблизительно 1,5 процента всех нервных клеток.



СЕНСОРНЫЙ ГОМУНКУЛУС

Схема, показывающая относительные размеры участков чувствительной области коры, представляющих различные части тела.

внутренние органы 1
глотка 2
язык 3
нижняя челюсть 4
верхняя челюсть 5
нижняя губа 6
верхняя губа 7
щека 8
нос 9
глаз 10
большой палец 11
указательный палец 12
средний палец 13
14 безымянный палец
15 мизинец
16 ладонь
17 запястье
18 предплечье
19 локоть
20 плечо
21 лопатка
22 голова
23 шея
24 туловище
25 бедро
26 голень
27 подошва ступни
28 пальцы ноги
29 половые органы




МОТОРНЫЙ ГОМУНКУЛУС
Схема, показывающая относительные размеры участков двигательной области коры, представляющих различные части тела.
1 пальцы ног
2 лодыжка
3 колено
4 бедро
5 туловище
6 плечо
7 локоть
8 запястье
9 ладонь
10 мизинец
11 безымянный палец
12 средний палец
13 указательный палец
14 большой палец
шея 15
бровь 16
веко и глазное яблоко 17
лицо 18
губы 19
челюсть 20
язык 21
горло 22
РЕЧЬ
СЛЮНА
ЗЕВОТА

Отдельные части коры головного мозга выполняют различные функции. На фиг. 25 показаны главные участки поверхности мозга, каждый из них выполняет преимущественно только одну определенную функцию, так что повреждение любого участка коры приводит к тому, что соответствующая этому участку функция не выполняется. Например, человек может ослепнуть, если зрительная зона его мозга серьезно повреждена в результате несчастного случая или вследствие опухоли мозга.

Лобная доля головного мозга сильно отличается от других его частей. Она не связана с выполнением каких-либо отдельных функций, а ее повреждение сказывается на психике и характере человека, в частности он становится менее сдержанным. По-видимому, нормально работающая лобная доля головного мозга оказывает определенное тормозящее влияние.

Как сказывается повреждение мозга на интеллектуальных способностях человека, впервые было установлено в 1848 году. У одного рабочего в результате несчастного случая была повреждена лобная доля. Физически этот человек полностью выздоровел, а вот его умственные способности значительно ухудшились. До несчастного случая он работал мастером, а после ему уже нельзя было доверить серьезную работу.

В настоящее время нейрохирурги в случае необходимости умышленно отключают всю лобную область мозга или только ее часть, надрезая нижележащее белое вещество. Эта операция, называемая *лоботомией*, спасла многих людей, страдавших некоторыми психическими заболеваниями.

В средней части боковой поверхности мозга есть борозда, которая называется *центральной бороздой* (см. фиг. 25). Впереди нее лежит *двигательная*, а позади — *чувствительная область*.

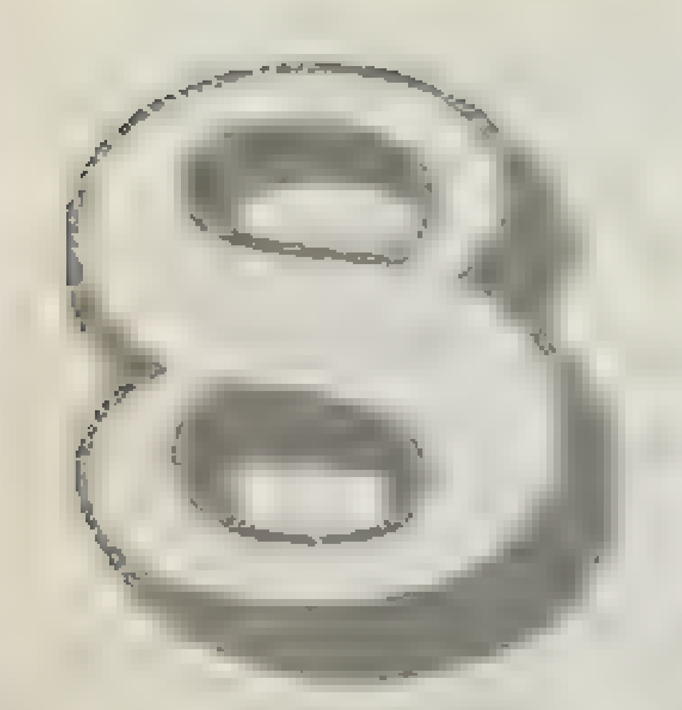
Функции этих областей были исследованы путем их раздражения в различных точках во время хирургического вмешательства. При этом больной подвергался не общему, а местному наркозу, чтобы предотвратить боль при вскрытии черепной коробки. Так как в мозге не возникает никаких болевых ощущений, то нет необходимости его анестезировать.

Электрическое раздражение точек двигательной области часто вызывает движение конечностей у оперируемого.

При этом раздражение правой половины мозга приводит в движение конечности левой половины тела, и наоборот. На фиг. 29 дан поперечный разрез мозга по центральной борозде; здесь показано разграничение центров в коре головного мозга. Видно, что часть мозга, связанная с движением всего туловища, ног, ступней, занимает меньшую поверхность коры, чем часть, связанная с движением кистей рук. Большая часть коры падает на область, связанную с работой мышц лица. Иными словами, значительную поверхность коры занимают области, связанные с теми частями тела, которые выполняют сложные движения. Удивительно, что рядом с областью движения тела лежит область движения мышц лба, а не подбородка.

Хотя сам мозг не чувствителен, электрический импульс в чувствительной его области может вызвать ощущение прикосновения или сжатия (но не боли) в какой-нибудь части тела. На фиг. 28 показана взаимосвязь точек чувствительной области коры головного мозга с соответствующими частями тела. Значительная часть поверхности коры связана с осязательной функцией рук, особенно ладони и большого пальца, а также с движением губ. В действительности самые чувствительные части тела представлены в коре головного мозга самыми большими областями ее поверхности.

Итак, мы убедились в том, что функции различных участков коры уже довольно подробно изучены, но все же наши знания в этой области пока что скудны и не позволяют раскрыть механизм поведения отдельных нервных клеток. Тайна электрической активности отдельных клеток головного мозга раскрыта по многочисленным электроэнцефалограммам, но до сих пор почти неизвестно, каким образом совместная работа этих клеток обеспечивает разумное поведение человека.



МОЗГ КАК ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Организация нервных клеток головного мозга, разумеется, не похожа на совокупность элементов внутри цифровой вычислительной машины; ни арифметическое устройство, ни управляющий блок или память не похожи ни на одну часть мозга. Однако у нас, без сомнения, есть память, и мы можем производить арифметические операции, но в выполнении этих функций участвует весь мозг, а не отдельные его области.

Нервные клетки функционируют намного медленнее элементов вычислительной машины. Когда одна клетка возбуждает другую через синаптический контакт, вторая клетка возбуждается с некоторой задержкой, равной примерно одной тысячной секунды. Для перехода отдельных элементов вычислительной машины из одного состояния в другое требуется меньше одной миллионной секунды. Если устранить медлительность функционирования нервных клеток, то из элементов, обладающих свойствами клеток, можно создать цифровую вычислительную машину.

На фиг. 30 приведена условная схема нервной клетки, позволяющая лучше понять принцип работы нервных клеток и способы их соединения. Большой кружок представляет собою тело клетки, а линия, выходящая справа, — ее аксон. Три линии слева обозначают аксоны других клеток, которые вступают в синаптический контакт с первой через свои дендриты. Треугольники — возбуждающие синаптические контакты, а маленький кружок—тормозной синапс.

Цифра «2» в большом круге обозначает число возбуждающих синапсов, к которым должны одновременно прийти сигналы, возбуждающие нервную клетку. Если сигнал приходит к тормозному синапсу, то он уничтожает действие одного из возбуждающих синапсов. Нервная клетка (см. фиг. 30) возбуждается только в том случае, если в одно и то же время поступают сигналы к возбуждающим синапсам, а сигнал тормозного синапса отсутствует. Когда нервная клетка возбуждается, она посылает по своему аксону сигнал, который может возбуждать или тормозить другие клетки.

Живая нервная клетка намного сложнее описанной выше схемы. В частности, возбуждающие синапсы живой клетки по своему действию не все одинаковы. Несмотря на это, интересно разобраться в том, что можно сделать при помощи сетей, состоящих из таких упрощенных элементов. Оказывается, что подобные сети могут делать то же самое, что и сеть из живых нервных клеток.

Мак-Каллок и Питтс в своей модели нервной системы впервые использовали эту упрощенную схему нейрона (нейрон — это просто другое название нервной клетки). Нейронные сети Мак-Каллока и Питтса можно заставить выполнять все операции, необходимые для работы вычислительной машины. Так, из них можно собрать арифметический блок, и при этом не потребуется каких-либо других элементов. Предположим, например, что мы хотим построить сеть, которая имела бы пять входов и выдавала импульс на выходе только тогда, когда на вход поступают точно два сигнала. На фиг. 31 показана схема, работающая именно по такому принципу. Нейрон А возбуждается, если одновременно поступают два или больше сигналов и если возбуждающий сигнал посылается на нейрон В. Однако если сигналов больше чем два, то возбуждается нейрон Б, который тормозит возбуждение нейрона В. Таким образом, нейрон В возбуждается только в том случае, если сигналы поступают не более чем по двум входам.

Мозг существенно отличается от вычислительной машины тем, что он выполняет любую операцию без программы, поступающей в него с перфокарт или перфоленты. Программа работы мозга в отличие от программы работы вычислительной машины органически связана с ним и хранится непосредственно в нем. Конечно, можно сконструировать вычислительную машину, которая запоминала

30



Схема нервной клетки.

Сеть из нейронов Мак-Каллока и Питтса, дающая сигнал на выходе только в том случае, если на входе имеется не больше двух сигналов.

31



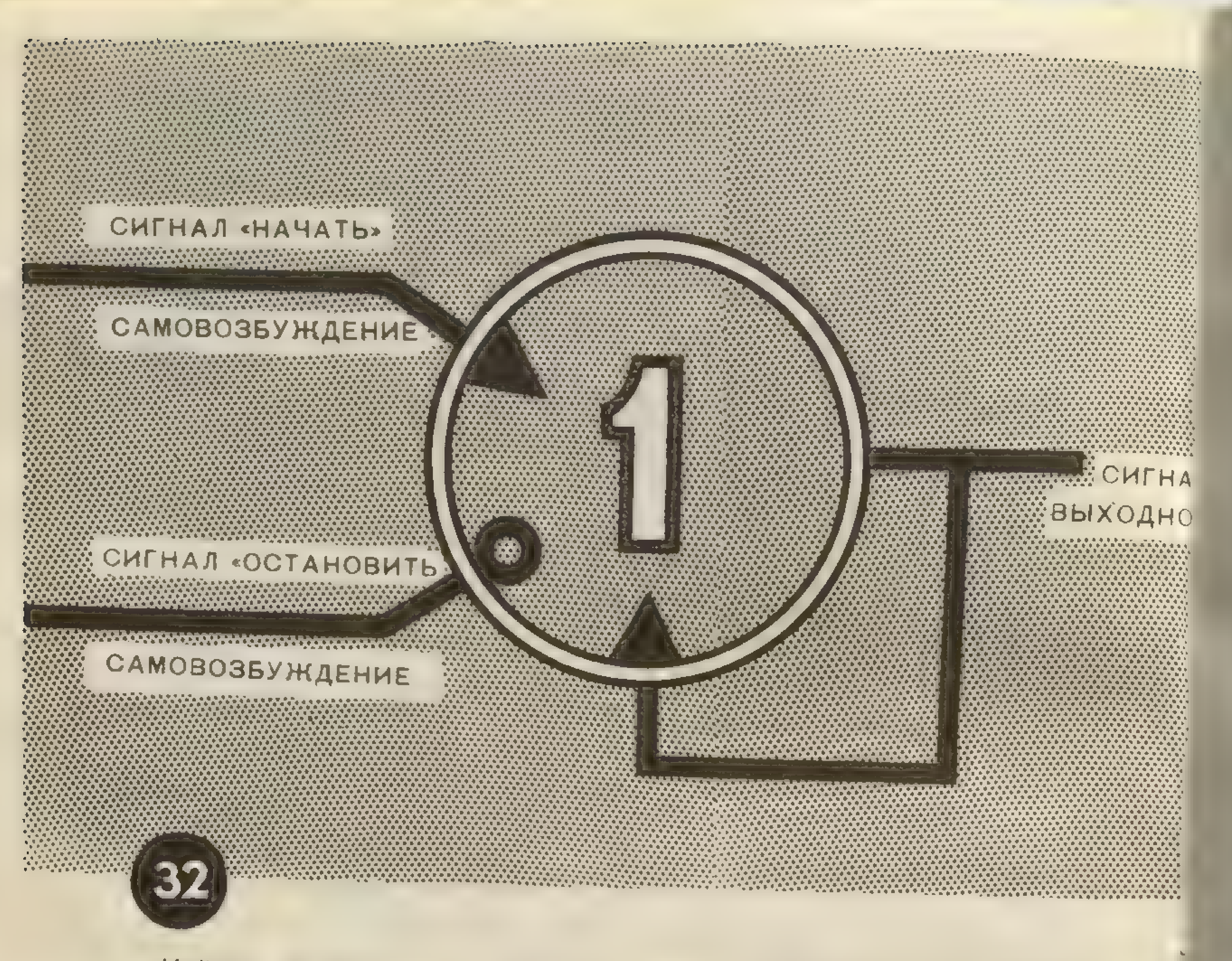
бы все прошлые программы для решения будущих задач, но объем памяти такой машины потребовал бы столь огромных затрат, что ее создание было бы практически нецелесообразным. Мозг же имеет удивительную способность улучшать свои «программы» по мере накопления опыта и может самостоятельно найти новую программу для своих действий. К настоящему времени предприняты попытки создать самообучающиеся машины, действующие по принципу работы человеческого мозга. Этот тип машин будет рассмотрен в последующих главах.

И мозг, и вычислительная машина запоминают информацию. Мы рассмотрели некоторые способы запоминания, используемые в вычислительных машинах. Как происходит процесс запоминания в мозге, во многом еще остается тайной; один из возможных способов состоит в образовании «самовозбуждающихся петель». Если аксон нервной клетки соединен со своим собственным возбуждающим синапсом, как показано на фиг. 32, клетка может находиться в состоянии самовозбуждения. Иными словами, каждый импульс в аксоне снова возбуждает клетку через синапс и вызывает следующий импульс через одну тысячную секунды и т. д. Самовозбуждение, однажды возникнув, будет продолжаться неопределенно долго, но начинается оно не случайно, а под действием приходящего сигнала. Итак, клетка может быть в двух состояниях — либо в покое, либо в состоянии самовозбуждения.

Поскольку клетка способна находиться в двух состояниях, она может запоминать двоичные цифры. Если она находится в состоянии покоя, импульс, поступающий по верхнему входу (см. фиг. 32), переведет клетку в состояние самовозбуждения. Импульс, поступающий по нижнему входу, вернет клетку в прежнее состояние покоя.

Весьма правдоподобным кажется предположение, что человеческая память в какой-то мере связана с возникновением самовозбуждающихся петель. Схема многих нервных клеток в головном мозге подобна той, которая показана на фиг. 32, где ветвь аксона изогнута и переплетается с дендритами той же клетки, образуя замкнутую петлю. По-видимому, все же это не единственный способ запоминания информации.

Если через мозг пропустить электрический ток достаточной силы, то произойдет беспорядочное возбуждение нервных клеток, и любая информация, накопленная в



Нейрон Мак-Каллока и Питтса в режиме управляемого самовозбуждения.

самовозбуждающихся петлях, уничтожится. Весьма мощный электрический разряд тока, пропускаемый через мозг больных, страдающих определенными психическими заболеваниями, приводит во многих случаях к удивительным результатам. Люди, подвергнувшиеся такой процедуре, не помнят, что происходило с ними примерно за пятнадцать минут до электрошока, однако они сохраняют в памяти более отдаленные события. Это дает основание полагать, что в самовозбуждающихся петлях информация хранится короткое время, а затем переводится в другую форму памяти.

Итак, процесс запоминания информации происходит пока еще не раскрытым способом [1], меняющим свойства

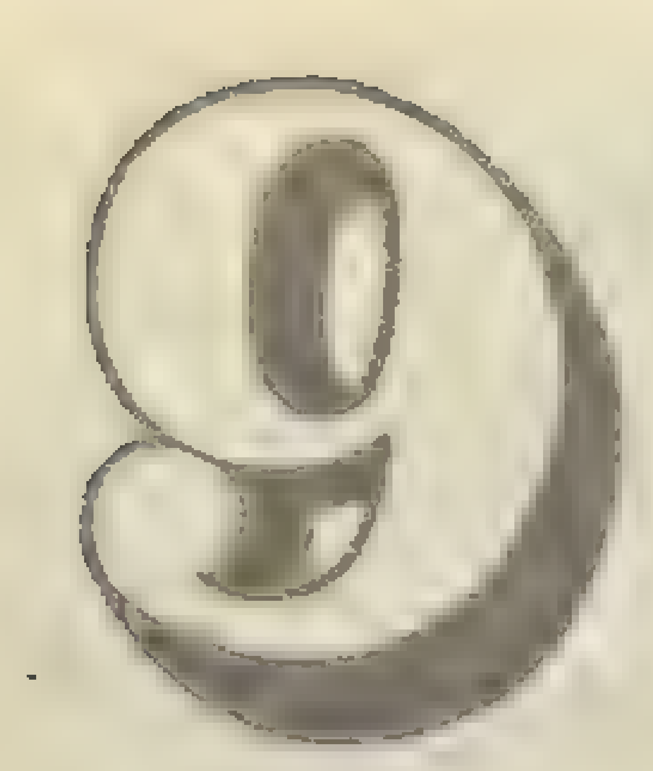
[1] Целый ряд экспериментов, проведенных в последнее время, указывает на то, что эта память имеет химическую природу.— *Прим. перев.*

синаптических контактов между клетками. Этот вопрос будет нами рассмотрен в главе, посвященной обучению.

Другое важное отличие мозга от вычислительной машины — это его способность работать весьма надежно, даже тогда, когда многие составные части не функционируют нормально. Сильное повреждение головного мозга может и не отразиться на умственных способностях пострадавшего. Доказано, что в мозге взрослого человека каждый день отмирает приблизительно 100 000 клеток. В некоторых случаях такая потеря клеток может в конечном итоге привести к одряхлению организма, но не к полной потере умственных способностей, тогда как неисправность нескольких компонентов вычислительной машины полностью выводит ее из строя.

Человеческий мозг работает удивительно надежно, даже когда многие его нервные клетки выходят из строя или когда изменяются их свойства, например, если кровь содержит алкоголь или наркотики. Очевидно, клетки мозга организованы таким образом, что для осуществления какой-либо функции используется гораздо больше клеток, чем минимально требовалось бы. Так обеспечивается в целом надежное функционирование системы, составленной даже из недостаточно надежных элементов.

Вычислительные машины будущего, возможно, смогут обладать подобным же специфичным свойством. По мере увеличения сложности вычислительных машин все большую роль приобретает проблема их надежности в работе. Эту проблему можно разрешить кажущимся на первых порах парадоксальным путем, используя большое число простых и малонадежных элементов, соединенных между собой подобно нервным клеткам в мозге. Вычислительные машины будущего, по-видимому, приобретут больше сходства с мозгом, чем современные.



ОБУЧЕНИЕ

Опыт помогает людям научиться выполнять различные вещи. Вычислительные машины обычно не учатся, а работают по программе, включающей элементы обучения. Эти программы используются при решении отдельных задач, например таких, как игра в «крестики-нолики» или управление химическим процессом. В настоящее время созданы также специальные машины, способные обучаться. На фиг. 33 показана механическая мышь, сконструированная Шенноном в лаборатории телефонной компании «Белл». В ходе опытов эта мышь обучилась без лишних поворотов преодолевать лабиринт.

Чтобы машина сама научилась что-то делать, она должна, как человек, оценивать результаты своих действий. Например, в вычислительную машину с введенной в нее программой для игры в «крестики-нолики» должен поступать сигнал о том, выиграла она игру или проиграла, чтобы она могла сделать вывод, были ли ее ходы хорошими или плохими. Машина запоминает успешные ходы и пользуется ими повторно, если в последующей игре встречается аналогичная ситуация. Если машина проиграла игру, то она не может сразу решить, какой из ее ходов был плохим, однако, собрав сведения по многим играм, она сможет выбрать лучшие ходы.

Существуют весьма простые устройства, действие которых зависит от результатов их функционирования. К таким устройствам можно отнести регулятор водяного термостата, который выключает встроенный нагреватель при



33

Механическая мышь Клода Шеннона.

достижении определенной температуры воды, скажем 70°C; когда температура понижается, то он включает нагреватель. Так, получая сигнал о результате своего предыдущего действия, регулятор термостата поддерживает температуру, близкую к требуемой [1].

Изобретенный Уаттом центробежный регулятор паровой машины также может служить примером такого рода устройства (см. фиг. 35). Этот регулятор состоит из двух металлических шаров, прикрепленных к вертикальному валу, приводимому в движение машиной. Когда скорость вращения вала превышает допустимую, шары под действием центробежной силы расходятся в разные стороны и воздействуют на рычаг, который закрывает клапан, уменьшая поступление пара от парового котла. Таким образом, устройство регулирует скорость вращения вала паровой машины.

Хотя регулятор и чувствителен к результатам своих действий, на самом деле он *не обучается* управлять машиной. Если его установить на машине другого типа с рычагом, действующим наоборот, т. е. чтобы при движении вниз он открывал заслонку, вместо того чтобы закрывать ее, то мы вообще не добьемся никакого регулирования.

С другой стороны, человек-оператор быстро понял бы, что рычаг действует наоборот, и сумел бы отрегулировать скорость машины. При этом он нашел бы *правило управления,* которое связывало бы движение рычага с наблюдаемой им скоростью машины. Это правило выглядело бы примерно так: «Скорость велика — рычаг вниз, скорость мала — рычаг вверх». В действительности же оператор обучился бы гораздо большему, он запомнил бы, насколько нужно передвинуть рычаг вверх или вниз при отклонении скорости от требуемого значения.

Многое, чему обучается человек, требует формирования сложных правил управления: например при езде на велосипеде необходимо освоить более сложные правила управления, чем при регулировании скорости машины. В каждом случае информация о контролируемом объекте воспринимается нашими органами чувств, и по принятому

[1] По существу, в этом и последующем примерах автор описывает системы, обычно называемые системами с обратной связью. Принцип обратной связи нашел широкое применение в автоматическом управлении и регулировании. Однако системы с обратной связью гораздо проще обучающихся систем.— *Прим. перев.*

Путь мыши через лабиринт:

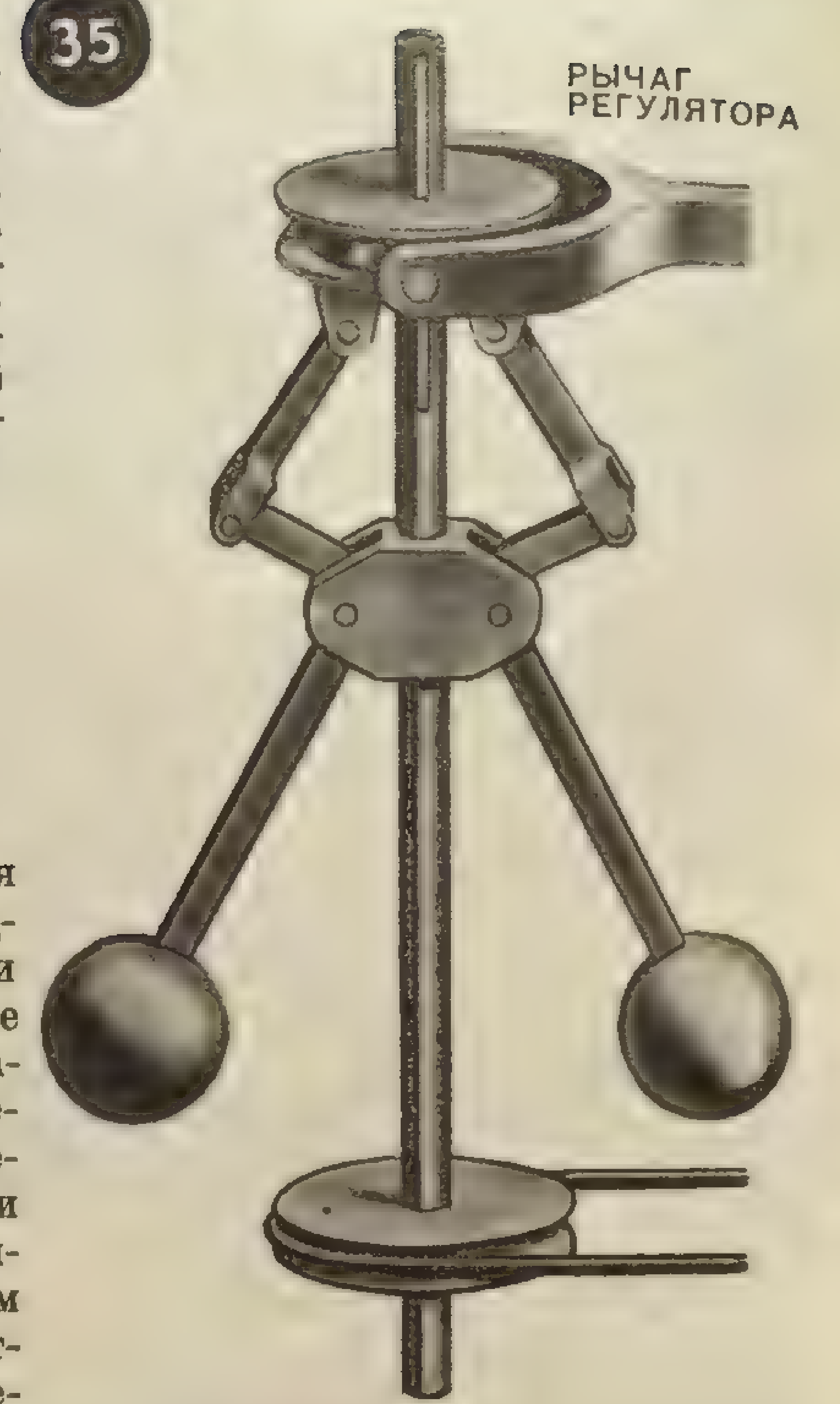
А. До обучения.

Б. После обучения.



Эти фотографии сняты при экспозиции, продолжавшейся в течение всего времени, пока мышь пересекала лабиринт. К спине мыши была прикреплена лампочка, позволившая зафиксировать путь ее движения.

Центробежный регулятор Джеймса Уатта для управления скоростью вала паровой машины. Шары под действием центробежной силы расходятся в разные стороны и поднимают рычаг регулятора, который прикрывает клапан, подающий пар в машину.



правилу управления она определяет предпринимаемые нами действия. Главные органы чувств, участвующие в управлении при езде на велосипеде, это глаза и органы, расположенные во внутреннем ухе, которые чувствительны к ускорению и силе тяжести.

Устройства, автоматически управляющие технологическими процессами, тоже получают информацию о контролируемой системе от датчиков, которые измеряют такие переменные параметры, как температура, давление, расход и уровень жидкости. Они могут улучшать правило управления по мере накопления опыта; в этом случае они называются *самооптимизирующими системами управления* (или оптимизаторами). Это улучшение часто достигается поиском с пробными воздействиями.

Время от времени в правила управления автоматически вводятся небольшие изменения и определяется результат их воздействия. Если они ведут к улучшению управления, то правила соответственно изменяются, чтобы сохранить это улучшение. Если изменения не приводят к улуч-

шению, то их ликвидируют, и правила управления остаются в прежнем виде, пока автоматически не будет введено следующее пробное изменение.

Один из первых действующих оптимизаторов был продемонстрирован в 1951 году Дрейпером и Ли, сотрудниками Массачусетского технологического института. Их оптимизатор устанавливал оптимальное соотношение компонентов смеси бензин — воздух, поступающей в двигатель внутреннего сгорания, а также точно определял момент зажигания смеси, с тем чтобы двигатель мог развить максимальную мощность. При помощи соответствующего устройства замерялась мощность двигателя и посылался сигнал оптимизатору, который в свою очередь производил настройку путем подачи пробных добавок смеси. Правило управления, или алгоритм этого оптимизатора, было относительно простым — после настройки значения переменных оставались неизменными. Сейчас разработаны и более сложные оптимизаторы, в которых значение регулируемых переменных зависит от некоторых величин, характеризующих процесс.

А как же действует мозг при формировании *своих* правил управления, то есть алгоритма своей работы? Возможно, это происходит путем изменения синаптических связей между нервными клетками, но как это происходит в действительности, мы точно еще не знаем.

При описании нейронов Мак-Каллока — Питтса мы предполагали, что все их возбуждающие синапсы в одинаковой мере способствуют возбуждению. Однако в живой нервной клетке это происходит не только так, и обучение, возможно, влечет за собой изменение интенсивности воздействия синапсов в мозге. Никто еще не знает, чем обусловлены эти изменения. Может быть, они устанавливаются в результате процесса поиска с пробными воздействиями подобно тому, как это происходит в автоматических оптимизаторах.

Ранее уже упоминалось, что вычислительные машины возможно, будут состоять из огромного количества дешевых и малонадежных элементов. Для такой огромной сети соединения между отдельными элементами не могут быть точно предусмотрены конструктором. Если удастся раскрыть, каким способом мозг образует алгоритмы управления, то станет известно, как лучше использовать вышеупомянутый тип вычислительных машин.

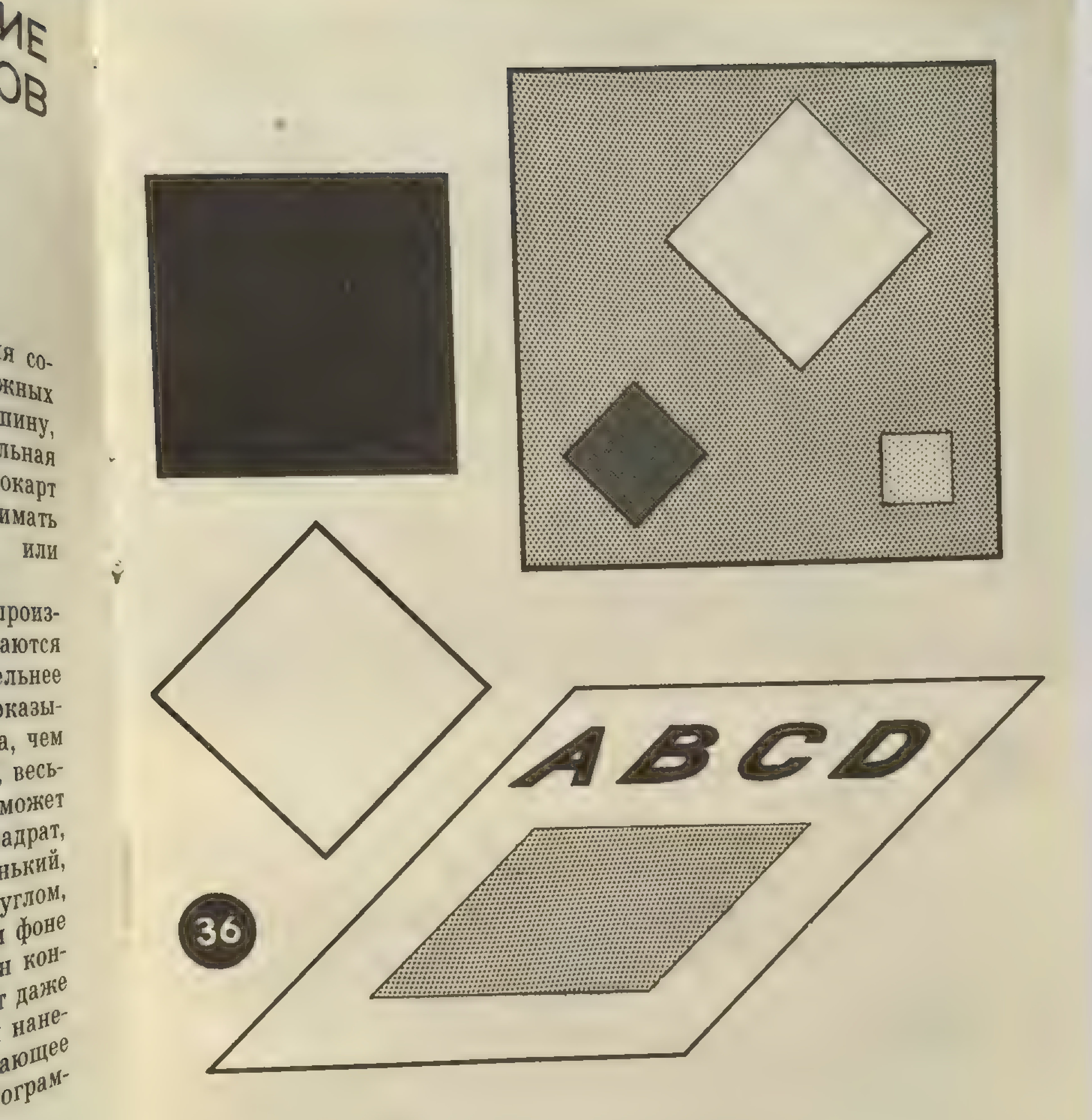


РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Несмотря на то что в настоящее время созданы машины для решения многих сложных задач, очень трудно сконструировать машину, распознающую образы. Обычно вычислительная машина получает информацию с перфокарт или перфоленты; она не может воспринимать написанный или напечатанный материал или произнесенные слова.

Напечатанные буквы или фигуры и произнесенные или написанные слова распознаются нами без малейшего труда. Если тщательнее рассмотреть задачу распознавания, то оказывается, что она значительно более сложна, чем кажется на первый взгляд. В самом деле, весьма удивительно, что человек мгновенно может распознать любую фигуру, например квадрат, независимо от того, большой он или маленький, расположен ли он вертикально или под углом, нарисован ли он белым цветом на черном фоне или черным на белом или просто очерчен контуром. Более того, мы распознаем квадрат даже в том случае, если бумага, на которую он нанесен, наклонена так, что изображение, падающее на сетчатку глаза, выглядит параллелограммом (фиг. 36).

Часто в вычислительную машину требуется ввести информацию в письменной или печатной форме. Если информация невелика, она может быть легко введена в машину в виде перфокарт или перфоленты. Однако в случае высокоскоростного перевода с одного языка на другой превращение написанных слов в числовую форму представляет весьма трудную задачу.



Различные изображения квадрата, на примере которых видно, что тип фигуры может быть легко определен несмотря на различие форм.



37 Электронный читающий автомат фирмы «Солартрон».

Для решения такой задачи была разработана читающая машина — электронный читающий автомат (фиг. 37), — которая может «читать» цифры от 0 до 9 и несколько букв со скоростью 300 знаков в секунду, однако этого оказалось недостаточно для ее использования при автоматическом машинном переводе.

Такой читающий автомат превращает напечатанную информацию в электрические сигналы, которые или управляют перфоратором, или непосредственно поступают в вычислительную машину. Этот автомат также применяется для считывания информации с контрольных кассовых роликов и дает возможность использовать вычислительную машину для анализа конъюнктуры продажи товаров. Однако стоимость автомата окупается лишь в тех случаях,

если его используют для считывания большого количества кассовых роликов, поступающих из многих магазинов [1].

Принцип работы читающего автомата, показанного на фиг. 37, состоит в том, что поверхность бумаги, занятая изображением, сканируется (просматривается) лучом света, в то время как фотоэлемент фиксирует интенсивность отраженного света. Площадь сканирования разбита на сто небольших квадратиков, как это показано на фиг. 38. Во время сканирования определяется, в каких квадратиках преобладает белый цвет, а в каких — черный; установив тем самым цвет ста элементарных квадратиков, машина решает, какая цифра находится перед ней. Электронные схемы для выполнения этой задачи очень сложны. Ее можно упростить, если все цифры четко отпечатать на белой бумаге. В действительности же цифры часто расплывчаты и иногда имеют разрывы в контурах, а бумага, на которой напечатан материал, слишком зерниста. На фиг. 39 в увеличенном виде показано типичное изображение цифры на кассовом ролике.

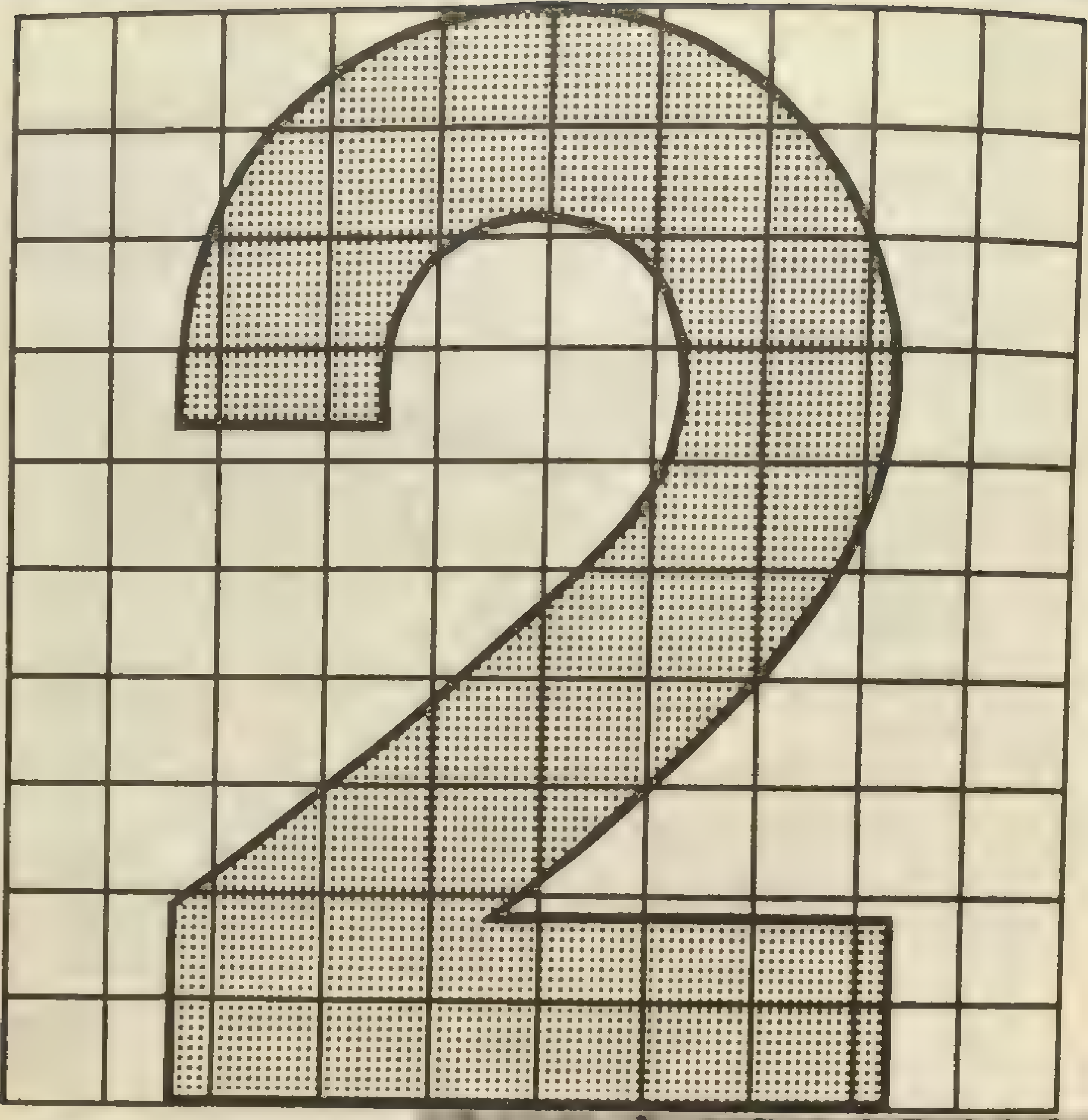
Исследования по распознаванию образов продолжаются. Довольно скоро мы, по-видимому, будем иметь машины, которые смогут распознавать весь алфавит или, что гораздо труднее, читать рукописный текст. Возможно, будут созданы машины, которые смогут отличать почерк одного человека от почерка другого или определять подлинность подписи на банковских чеках.

Решение подобных задач чрезвычайно сложно, поэтому машины такого типа, конечно, сделают обучающимися. Их станут «обучать» распознаванию путем показа большого числа примеров образов, при этом будет точно указываться, к какому образу относится каждый пример.

Одна из машин, обучающихся распознавать образы, называется персептроном.

Персептрон содержит большое количество элементов, функции которых сходны с функциями живых нервных клеток. Процесс обучения этой машины заключается в

[1] Надежность такого читающего автомата невелика, поэтому для механизации расчетов к товарам иногда прикрепляются специальные миниатюрные перфокарточки, которые содержат все необходимые сведения о них. При продаже их отрывают и отсылают в вычислительный центр, где информация с них считывается, как и с обычных перфокарт, и используется для различных расчетов.—*Прим. перев.*

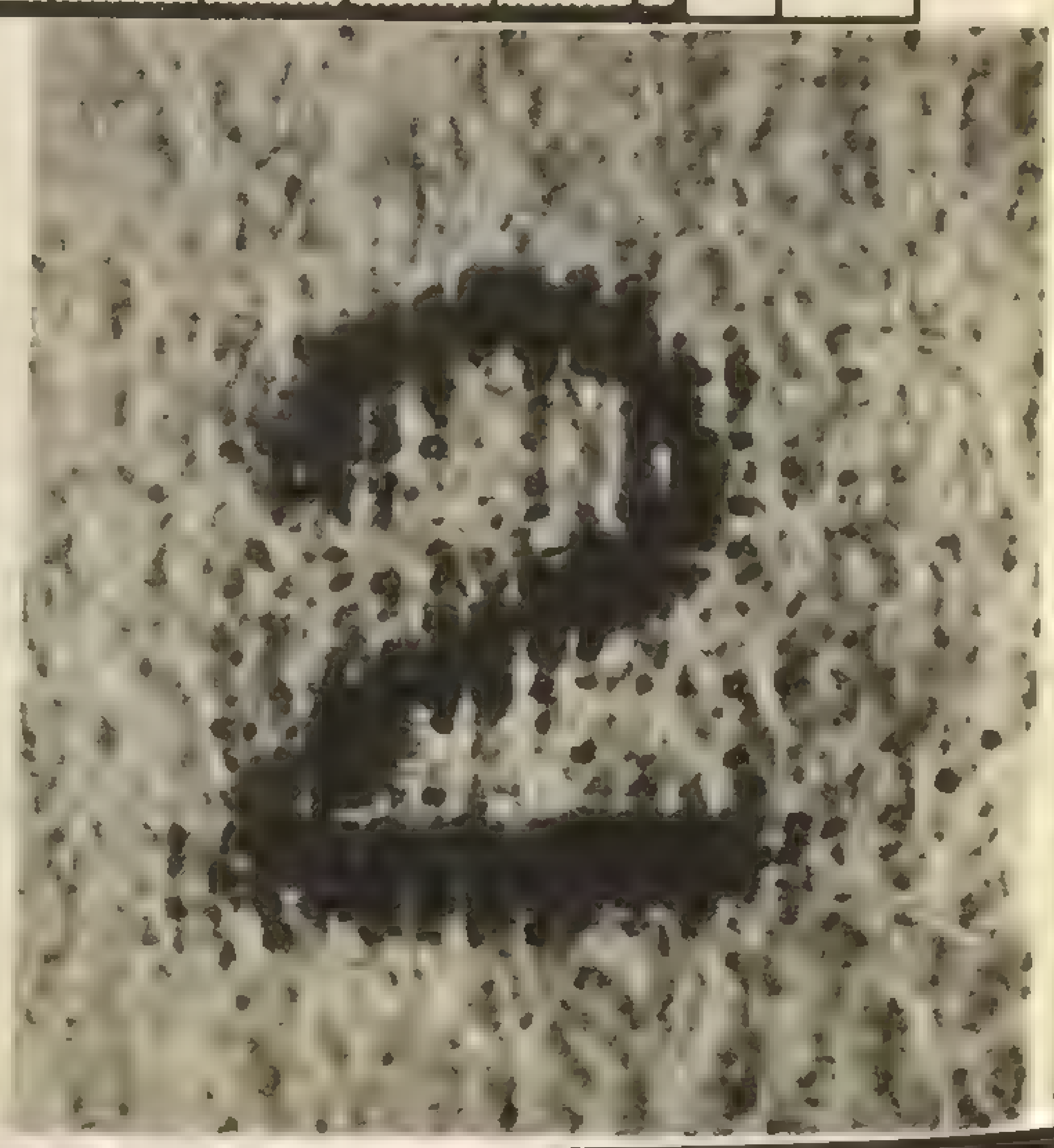


38

Способ разделения площади, занимаемой цифрой «2», на 100 квадратиков. Аналогичный способ используется при движении развертки в электронном читающем устройстве.



Увеличенное изображение обычной цифры с ролика кассового аппарата.



40

Буквы разны
одинакового
личаются тол
по размерам
точно классиф
изображений.

40

Буквы разных размеров под различным углом наклона. Буквы А одинакового размера, но с разными углами наклона. Буквы Е отличаются только размерами. Буквы N отличаются друг от друга и по размерам и по углу наклона. Персептрон может быть обучен точно классифицировать эти буквы, несмотря на разнообразие их изображений.

изменении величины взаимосвязей между этими элементами, аналогично тому как обучение человека, по-видимому, изменяет синаптические связи в его нервной системе.

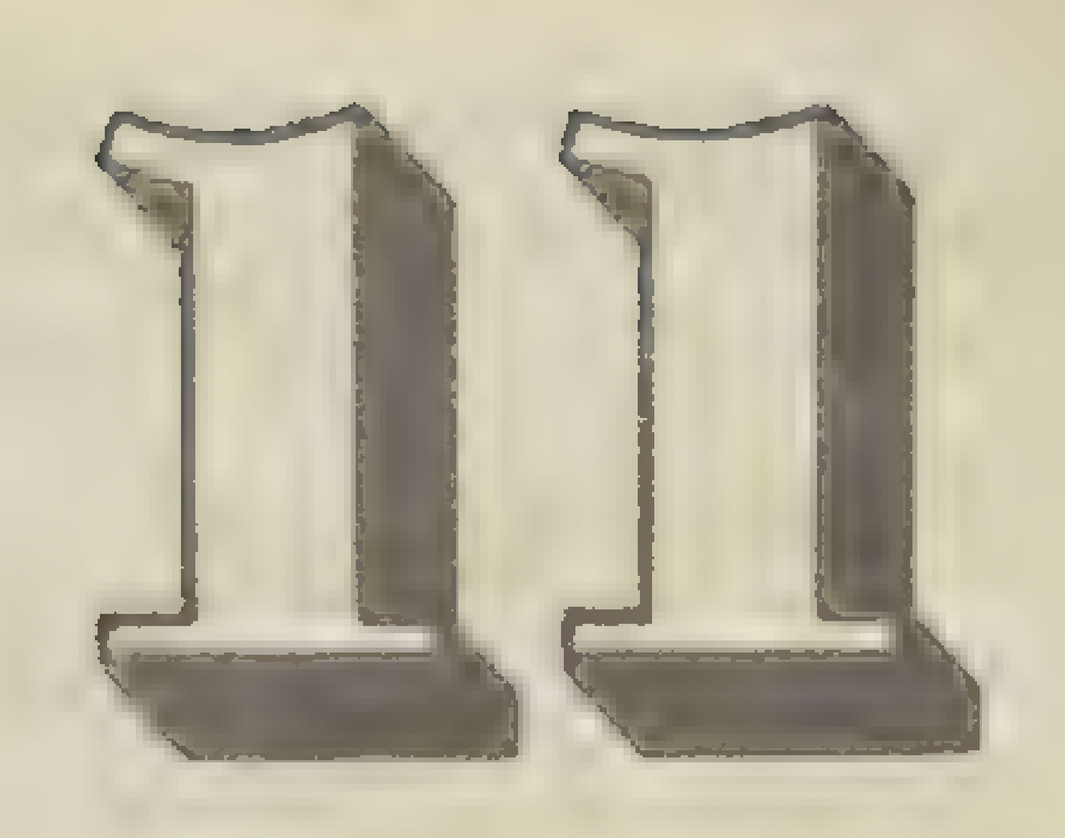
Персептрон был обучен распознавать заглавные буквы, причем распознавание происходило даже тогда, когда буквы были различного размера и наклонены под различными углами, как это показано на фиг. 40. Однако эта машина не может распознавать необычно написанные буквы, подобные тем, которые пишет человек, когда он старается писать заглавными печатными буквами.

Селфридж и его коллеги из Массачусетского технологического института разработали другую систему, обучающуюся распознаванию образов, которая довольно успешно распознавала десять букв, напечатанных на пишущей машинке (Селфридж выбрал буквы A, E, I, L, M, N, R, S, T, O, чтобы исключить трудно отличимые буквы; например, букву Q, так как ее легко спутать с O.) Эта система не обучается на произвольных примерах, как персептрон. Она определяет некоторые особенности печатных букв, такие, как число углов, характерные соединения линий, и затем находит наилучший способ использовать эти данные при распознавании букв.

Предприняты также попытки построить машину, распознающую речь. Машина, распознающая ограниченное количество звуков, сконструирована на кафедре фонетики в Лондонском университете. В исследовательской лаборатории ВВС США изготовлен другой образец подобной машины. При ее обучении определенные слова произносят в микрофон, подключенный к ней; одновременно с этим поступают закодированные в соответствующей форме буквы, образующие произносимое слово. После обучения машина печатает слова, произносимые в микрофон. В Лондонском университете она распознает отдельные гласные и согласные, а также слова, произносимые по слогам в соответствии с фонетическими правилами. Задачи подобных устройств очень сложны, так как в английском языке одни и те же слова отличаются фонетически еще больше, чем орфографически. Несмотря на первые успехи в этой области, пройдет еще много времени, прежде чем машины заменят стенографисток!

Решение задачи распознавания образов с помощью машин едва началось. Конструкторы машин могут многому научиться, изучая живой мозг.

ИСКУССТВЕННОЕ МЫШЛЕНИЕ



Вычислительные машины пока что нельзя сравнить с мозгом при решении таких задач, как распознавание образов, хотя они и могут выполнять значительно более сложные функции, такие, например, как игра в шахматы или решение геометрических задач. Этот вид «искусственного мышления» осуществляется путем составления программ для больших цифровых машин. Но прежде чем продолжить знакомство с такими устройствами, рассмотрим другой вид вычислительных машин, называемых *логическими машинами.* Они могут, например, решать задачи такого рода: перед поступлением в университет ученику нужно выбрать из семи предметов четыре или пять, которыми он будет заниматься в последнем классе школы. Это математика, история, естествознание, английский, латинский, немецкий и французский языки.

Английский язык является обязательным. При выборе естествознания ученик должен изучать также математику; латинский не требует изучения немецкого. История исключается при этом из всех занятий. В предлагаемом варианте ученик должен знать естествознание и французский для поступления в университет. Сколькими способами можно выбрать предметы, которыми должен заниматься наш ученик?

Для решения этой задачи логическая машина должна иметь семь выключателей, соответствующих семи возможным предметам. Любая совокупность предметов может быть представлена замыканием соответствующих выключате-

лей. Соединения в машине выполнены таким образом, что она может проверить, удовлетворяет ли поставленным условиям любая выбранная группа предметов.

Для выполнения этих функций машина снабжена определенным числом блоков, обозначенных И, ИЛИ, НЕ и т. д. Блок, обозначенный И, имеет несколько входов и один выход, так что сигнал на выходе блока появляется тогда и только тогда, когда имеются сигналы на всех входах. Иными словами, если обозначить входы буквами A, B, C, то сигнал на выходе будет в том случае, если есть сигналы на входах A, B и C. Сигнал на выходе блока НЕ появляется, когда отсутствует сигнал на входе. Сигнал на выходе блока ИЛИ появляется в том случае, если хотя бы на одном входе есть сигнал.

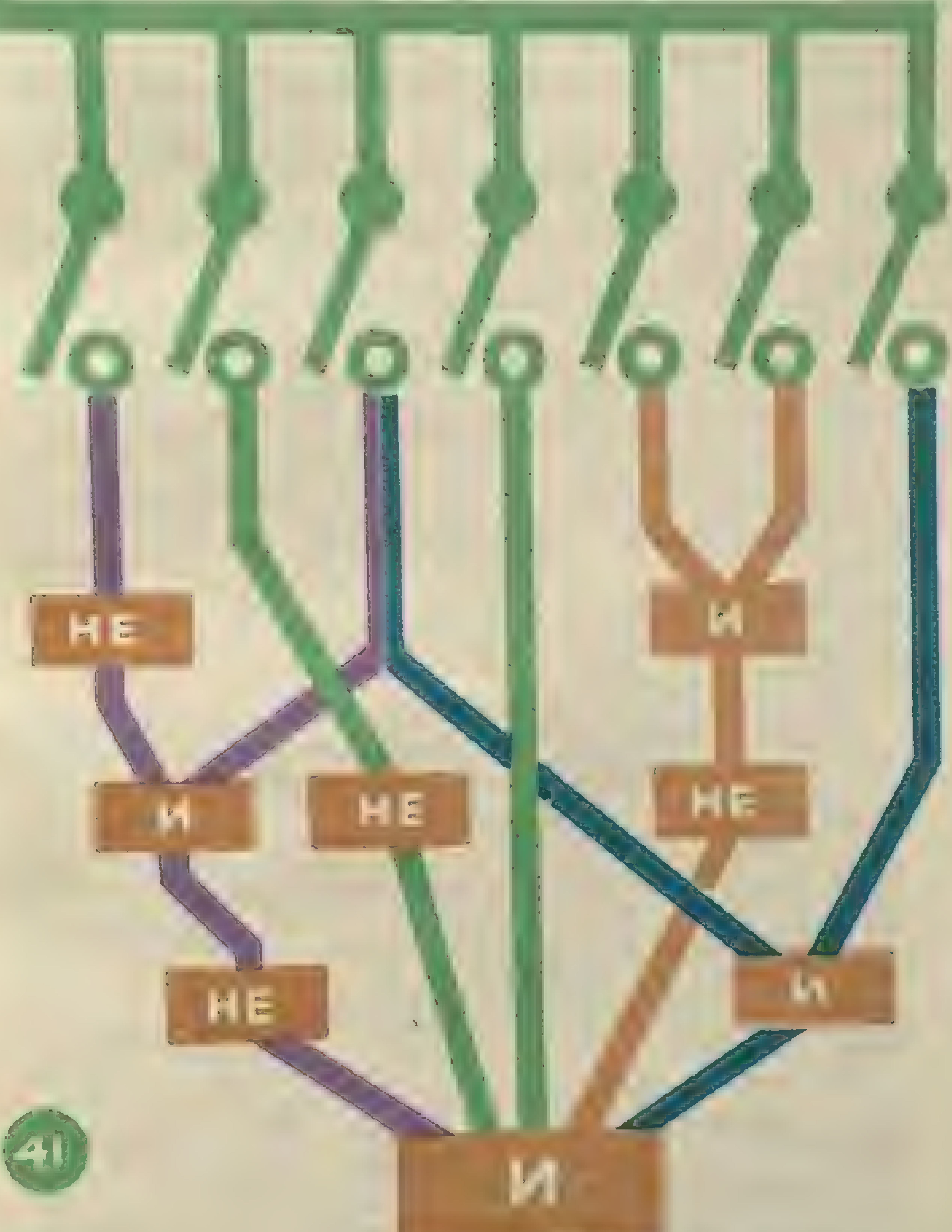
На фиг. 41 показано, как должны быть соединены вышеупомянутые блоки, чтобы образовалась сеть, удовлетворяющая условиям задачи. Сеть из таких вычислительных блоков исследуется при различных условиях. Блок И в нижней части схемы выдает сигнал на выходе, только если имеются сигналы на всех его входах, то есть если все условия задачи выполняются одновременно.

Условие «английский обязательно» представлено связью, идущей непосредственно от выключателя английского языка к выходному блоку И.

Часть схемы, окрашенная в малиновый цвет, соответствует условию: «если я выбираю естествознание, то я должен выбрать и математику». Голубым цветом показано условие: «я должен выбрать естествознание и французский язык», и оранжевым — «если я выберу латинский, то немецкий исключается». Схема будет более понятной, если первое условие выразить так: «нет естествознания без математики», а последнее так: «нельзя одновременно брать латинский и немецкий языки».

Сеть, показанную на фиг. 41, можно использовать, чтобы узнать, соответствует ли заданным условиям та или иная комбинация. Если она соответствует, то выходной блок И выдает сигнал, когда замкнуты выключатели, соответствующие этой комбинации.

В машине, работающей по такому принципу, выключатели переключались механически таким образом, что все возможные комбинации предметов проверялись автоматически (когда количество выключателей равно семи, то возможно 128 комбинаций). Машина начинает перебирать



Соединения логической вычислительной машины для решения задачи, приведенной в тексте. Линии малинового цвета соответствуют условию: «если я выбираю естествознание, то я должен выбрать и математику» и т. д.



ОТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
МАТЕМАТИКА
ИСТОРИЯ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ
АНГЛИЙСКИЙ
ЛАТИНСКИЙ
НЕМЕЦКИЙ
ФРАНЦУЗСКИЙ
НЕ

подряд различные комбинации до тех пор, пока на выходе не появится сигнал; при этом она запоминает комбинацию, удовлетворяющую требуемым условиям. После этого машина останавливается и выдает решение задачи. Оператор может записать эту комбинацию и опять запустить машину, чтобы найти другие решения.

В действительности имеются три решения описанной выше задачи:

А) математика, естествознание, английский, французский;

Б) математика, естествознание, английский, французский, латинский;

В) математика, естествознание, английский, французский, немецкий.

Схема состояния машин при решении вариантов А и Б показана на фиг. 42. Линии, по которым идут сигналы, окрашены в малиновый цвет, линии без сигналов — в зеленый.

На фиг. 44 показана комбинация предметов, которая не удовлетворяет некоторым условиям.

Логические машины позволяют решать довольно сложные задачи. Правда, при этом человеку приходится вручную устанавливать связи между блоками. Задача, которая рассматривалась выше, довольно проста. Практически машина с семью входными выключателями может решать более сложные задачи.

Логические вычислительные машины предполагается использовать в самых разнообразных направлениях, например, при составлении школьных расписаний или при проектировании систем СЦБ железнодорожных сортировочных станций. К сожалению, большинство практических задач может быть решено лишь при помощи вычислительной машины с большим количеством выключателей, поэтому логические машины не нашли широкого применения. Наиболее сложная логическая машина, построенная в Ноттингемском университете, содержит сорок входных выключателей.

Машина с семью входными выключателями и различными блоками (И, ИЛИ, НЕ и т. д.), расположенными в средней части установки и соединенными при помощи съемных проводников, изображена на фиг. 43.

Внутри блоков находятся очень простые схемы на электрических реле. На фиг. 45 показано, как могут быть со-

ставлены схемы для блоков И, ИЛИ, НЕ. (Реле представляет собой простой электрически управляемый выключатель. Прямоугольники условно изображают электромагниты, которые при пропускании тока переключают контакты влево, т. е. как бы тянут их вдоль пунктирной линии.)

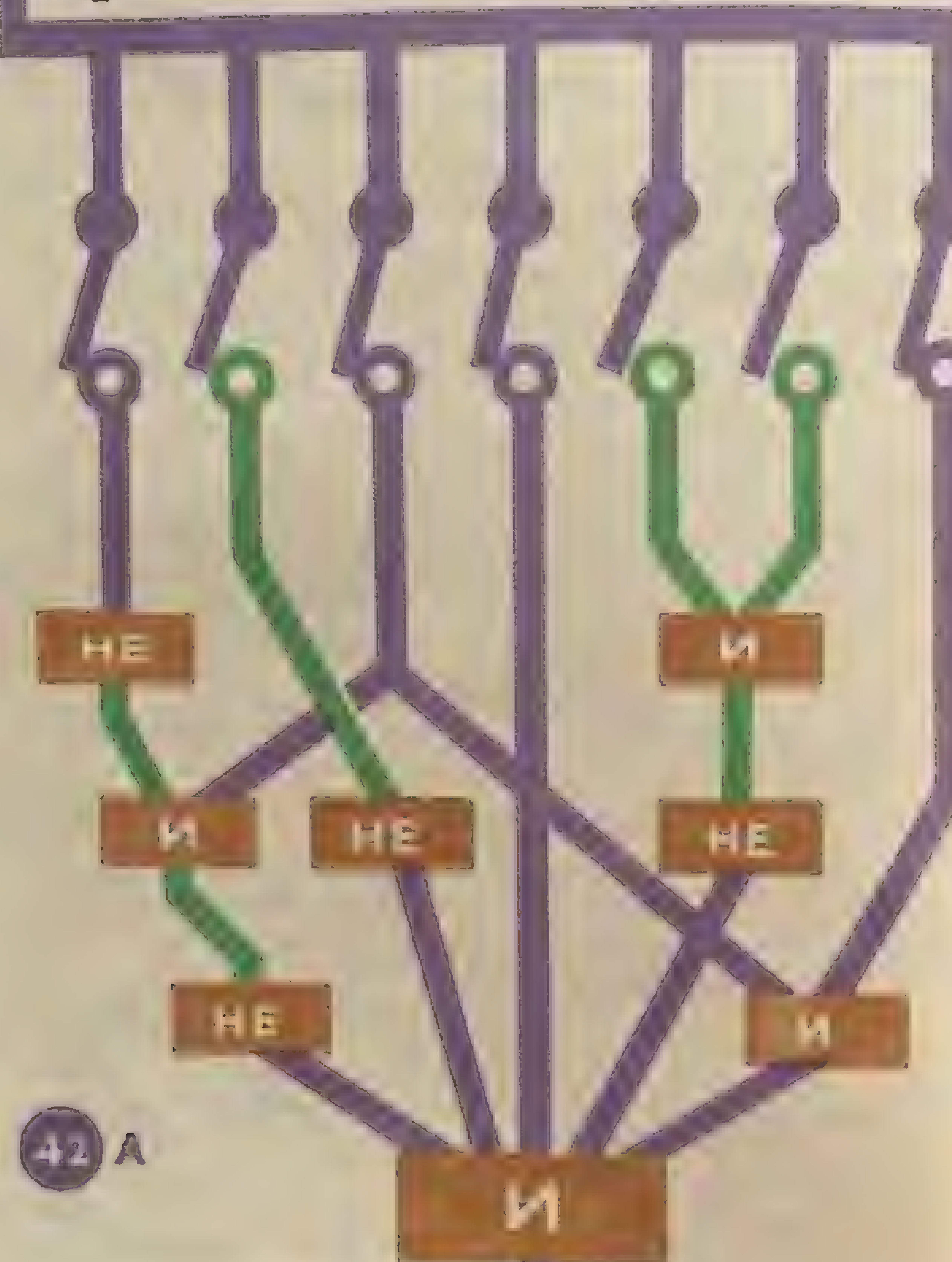
На фиг. 46 представлено выполнение тех же операций с помощью нейронов Мак-Каллока и Питтса. Полагают, что некоторые нервные клетки мозга функционируют аналогичным образом.

Логическая машина не занимается целенаправленным поиском решения задачи, а наугад выбирает ответ и проверяет, правилен ли он. (Для задач средней трудности она проверяет все возможные решения, так что в действительности элемент предположения отсутствует.)

Человек же при решении ряда математических задач весьма эффективно пользуется предположениями и догадками. Равенства в геометрии или тригонометрии не могут быть доказаны путем применения какой-то неизменной последовательности правил. Необходимые для доказательства теоремы выбираются при помощи предположений с последующей проверкой. Тем не менее окончательное решение может быть абсолютно строгим.

При доказательстве равенств обычно выдвигаются предположительные пути решения. Конечно, эти пути не выбираются совершенно произвольно. Для каждой задачи предпочтительнее применение каких-то определенных теорем. Например, если дана задача о треугольниках, то, по всей вероятности, следует использовать теоремы о равенстве и подобии треугольников. Тем не менее мы никогда не можем быть абсолютно уверенными в правильности выбора, так как для получения нужного пути решения невозможно сформулировать какое-либо правило, которое всегда оказывалось бы эффективным.

В настоящее время ведутся многочисленные работы по созданию машинных программ для формирования разумных предположений и гипотез, используемых при доказательстве различных математических равенств. Это направление носит название *эвристическое программирование* (слово эвристика означает «искусство нахождения истины»). Уже созданы программы, с помощью которых получены доказательства теорем более ясные и краткие, чем приведенные в обычных учебниках.



А. Одно из решений, набранное на входных выключателях. Линии, по которым проходит сигнал, изображены малиновым цветом.

ФРАНЦУЗСКИЙ

ОТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

МАТЕМАТИКА

ИСТОРИЯ

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

АНГЛИЙСКИЙ

ЛАТИНСКИЙ

НЕМЕЦКИЙ

ФРАНЦУЗСКИЙ

НЕ

И

НЕ

И

НЕ

НЕ

И

И

42 Б

Б. Другое решение, набранное на входных выключателях. Линии, по которым проходит сигнал, изображены малиновым цветом.

. Линии,
том.

ОТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
МАТЕМАТИКА
ИСТОРИЯ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ
АНГЛИЙСКИЙ
ЛАТИНСКИЙ
НЕМЕЦКИЙ
ФРАНЦУЗСКИЙ

НЕ
И
И
НЕ
НЕ
НЕ
И
И

42 А

А. Одно из решений, набранное на входных выключателях. Линии, по которым проходит сигнал, изображены малиновым цветом.

ОТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
МАТЕМАТИКА
ИСТОРИЯ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ
АНГЛИЙСКИЙ
ЛАТИНСКИЙ
НЕМЕЦКИЙ
ФРАНЦУЗСКИЙ

НЕ
И
И
НЕ
НЕ
НЕ
И
И

42 Б

Б. Другое решение, набранное на входных выключателях. Линии, по которым проходит сигнал, изображены малиновым цветом.

Ученые, работающие над эвристическим программированием, изучают и мозг и вычислительные машины. При составлении новых программ они, в частности, пользуются таким приемом: просят людей во время решения математических задач выражать свои мысли вслух, записывают их на магнитофон, а затем анализируют. Программист стремится, чтобы машинные методы как можно больше походили на методы работы мозга. Изучение сходства этих методов является главной целью проводимых работ.

Большинство эвристических программ, составленных до сих пор, не включало элементы обучения. Следующим шагом в развитии этой области будет использование принципов обучения.

Правила, на основе которых образуются наиболее эффективные предположения и гипотезы, следует отмечать и применять при решении задач в первую очередь. Очевидно, в будущем удастся создать программы, формирующие свои собственные правила.

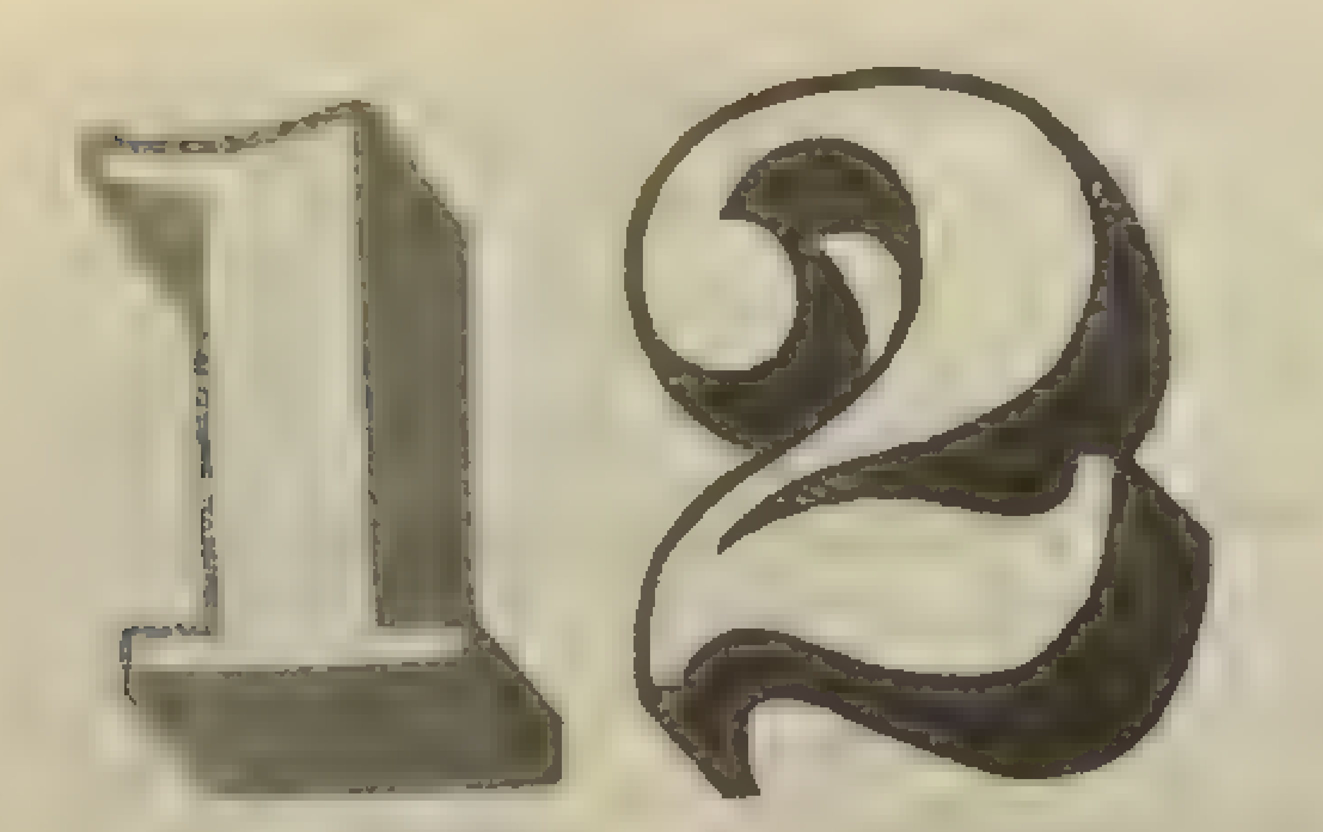
Вычислительная машина может быть запрограммирована для игры в шахматы. В настоящее время машины играют примерно так же, как шахматисты-любители, и им еще далеко до уровня игры чемпионов.

Если бы перед тем, как сделать очередной ход, вычислительная машина способна была просмотреть (до самого конца) все возможные последствия каждого хода, то эти ходы были бы совершенными и ее не удалось бы обыграть. В действительности же число возможных вариантов ходов столь велико, что даже высокоскоростная машина не в силах перебрать все варианты. Поэтому программы игры в шахматы предусматривают просмотр вариантов только на несколько ходов вперед, и машинную игру еще рано сравнивать с игрой лучших шахматистов.

Во время игры в шахматы людей просили думать вслух, и на основании сказанного ими составлялась программа для игры. Первые испытания таких программ дали весьма обнадеживающие результаты.

Вычислительная машина еще не способна использовать опыт своих предыдущих игр для улучшения программы работы, но это явится следующим этапом развития вычислительной техники. Вполне возможно, что в скором времени участники игр на чемпионате мира по шахматам станут прибегать к помощи вычислительной машины (если только это не будет запрещено правилами!).

Усилия по разработке эвристического программирования сосредоточены в настоящее время на математических задачах и составлении программ для игры в шахматы, поскольку они могут быть точно сформулированы и удобнее для изучения, чем, например, задачи, включающие индивидуальные особенности человека. Когда эвристические методы для машин будут достаточно развиты, их начнут применять для решения этих задач. Административные функции в промышленности и в правительственных учреждениях смогут тогда выполнять вычислительные машины; они, по-видимому, будут играть определенную роль и в образовании. Читатели этой книги, возможно, даже доживут до того времени, когда они смогут прочесть книгу с аналогичным названием, но написанную вычислительной машиной.



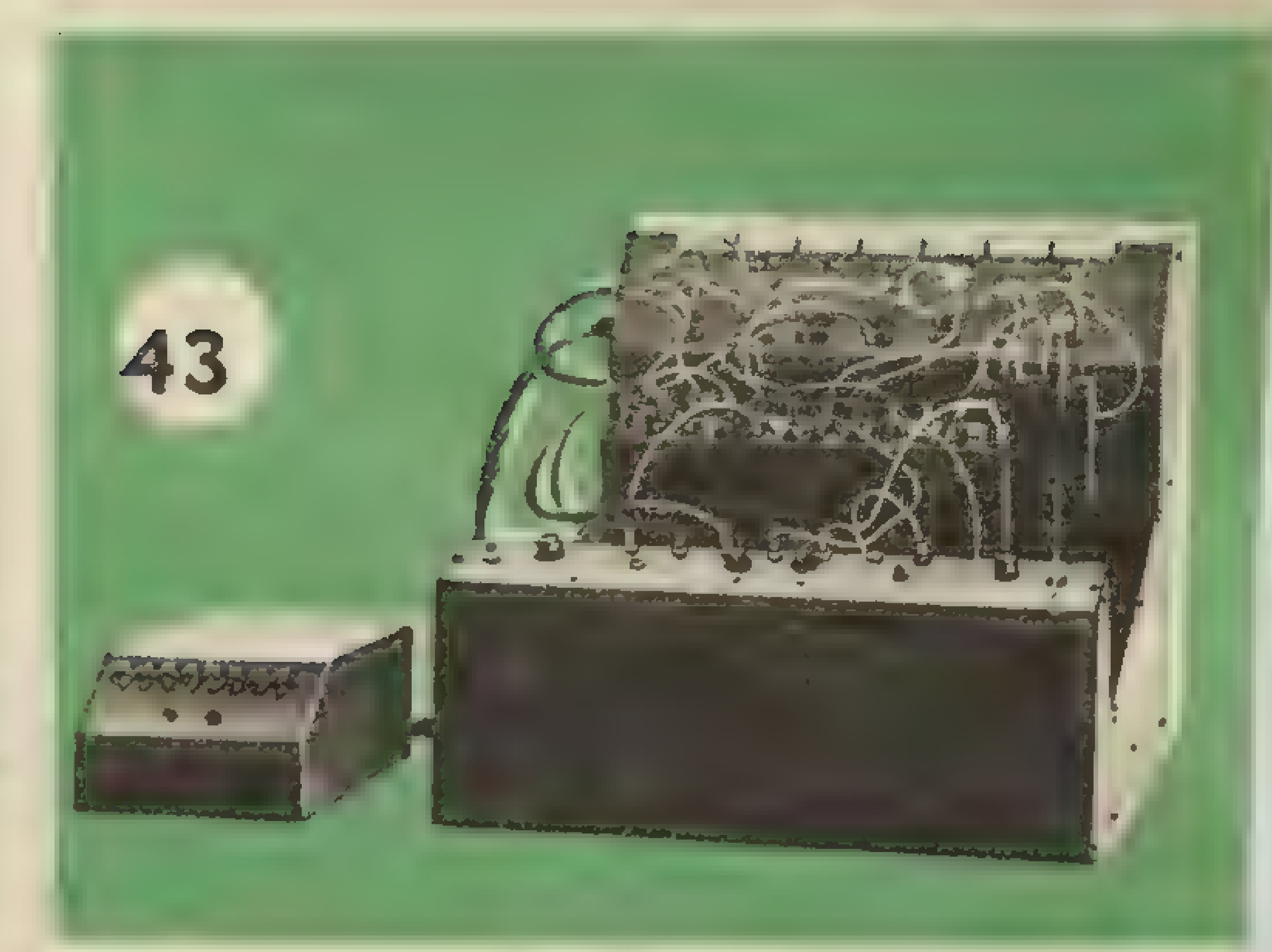
МАШИННАЯ МУЗЫКА

Если в вычислительную машину заложить программу для сочинения музыки, то она действительно сочинит новую музыку, нанося ее на перфоленту. Затем эту запись без труда можно переписать в обычно принятую нотную форму. Возможно, в будущем специальное электрическое печатающее устройство по сигналам, идущим от вычислительной машины, станет записывать музыку в привычном нам виде. Вычислительную машину можно также соединить с электронным органом, предназначенным для воспроизведения музыки непосредственно в момент ее сочинения.

Создание машинной музыки сильно отличается от других задач, выполняемых вычислительными машинами, поскольку впервые эстетика стала неотъемлемым элементом машинной программы.

Хотя вычислительная машина может выполнять многое из того, что свойственно мозгу, она не способна оперировать такими понятиями, как красота и удовольствие. Объяснить, что мы подразумеваем под этими словами, можно лишь описав, какое влияние оказывает тот или иной факт на человека. Это можно выразить старинной пословицей «Не по-хорошу́ мил, а по-милу́ хорош».

Чтобы машины создавали произведения искусства в области поэзии, живописи или музыки, они должны учитывать в какой-то форме реакцию человека на эти произведения искусства. Вычислительная машина может создать музыкальный отрывок, который будет удовлет-



Внешний вид логической машины. В средней части машины расположены шесть логических блоков, за ними — еще три блока.

ворять всем известным правилам музыкальной композиции, но если никто не получит удовольствия от его прослушивания, то эту музыку нельзя считать хорошей.


Однако вычислительная машина может помогать сочинять музыку. Ее можно запрограммировать для нахождения случайной последовательности нот, аналогично тому как определяются случайные числа в программе, использующей метод Монте-Карло. При этом не исключается, что последовательность, образующаяся при каком-либо цикле вычислений в машине, содержит мелодию, которую композитор использует в своем сочинении.

Эти мелодии, образованные машинной программой, могут служить композитору своего рода отправными моментами при сочинении музыки, так же как номера телефонов легли в основу мелодий некоторых композиторов современной популярной музыки. Если десять нот, расположенные приблизительно в середине фортепианной клавиатуры, обозначить номерами от 0 до 9, то цифры телефонных номеров могут образовывать простейшие мотивы. Различные композиторы сочиняли музыку, используя эти мотивы в качестве канвы. Кстати, Шуман поступил аналогичным образом при сочинении своей пьесы «Карнавал», воспользовавшись мелодией, состоящей из четырех нот, обозна-

Один из вариантов выбора предметов, который не удовлетворяет принятым условиям.

ОТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
МАТЕМАТИКА
ИСТОРИЯ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ
АНГЛИЙСКИЙ
ЛАТИНСКИЙ
НЕМЕЦКИЙ
ФРАНЦУЗСКИЙ

НЕ
И
И
НЕ
НЕ
НЕ
И
И



Релейные цепи для выполнения логических функций. Обмотки реле обозначены прямоугольниками. При пропускании тока втягивается стержень с соответствующим контактом.

Нейроны Мак-Каллока и Питтса для получения логических функций.

ченных буквами A, S, C, H. Asch — это название города, где жила возлюбленная композитора; кроме того, эти буквы входят в его имя. В немецкой системе обозначения нот эти буквы имеют музыкальный эквивалент.

Машинная музыка, полученная с помощью вычислительного устройства, больше похожа на музыку, чем просто случайный подбор нот, хотя ее композиция и основана на использовании случайных чисел. Машинная музыка прежде всего не состоит из отдельных нот. Все эксперименты по созданию такой музыки в основном проводились для струнного квартета. Кроме того, известно довольно много правил композиции музыки. Исследования произведений великих композиторов дали возможность определить эти правила и такие комбинации или последовательности нот, которые не встречались. Все это включается в программу; в результате машина вырабатывает только те последовательности нот, которые не нарушают вышеупомянутые правила.

Создание машинной музыки представляет интерес для тех, кто изучает теорию музыки, так как дает возможность определить, в какой мере установленные правила необходимы для сочинения удовлетворительной музыки. Кроме того, можно изменять программу, исключая те или иные правила, и исследовать влияние этого изменения на машинную музыку.

Наиболее удачное музыкальное произведение, созданное к настоящему времени машиной, — это сюита для струнного квартета, известная под названием *«Сюита Иллиак»*. Она была создана в результате четырех экспериментов, проведенных в Иллинойсском университете на машине «Иллиак». Получился довольно интересный опус, однако слушатели резко разошлись во мнениях при оценке ее чисто музыкальных достоинств.

Несомненно, вычислительная техника будет полезна для теоретического исследования музыки. Она может также натолкнуть композиторов на различные мелодии и оказаться значительно полезнее телефонных номеров, поскольку она учитывает правила музыкальной композиции. Однако возможность создания по-настоящему большой музыки только с помощью машины весьма маловероятна.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ БУДУЩЕГО 13

В будущем вычислительные машины станут больше походить на мозг человека, чем современные машины. Они смогут успешно решать все те задачи, которые в настоящее время легко решает только мозг. К ним можно отнести, например, проблему распознавания образов. Конструкторы вычислительных машин будущего, вероятно, постараются подражать всем тем способам, которыми мозг решает эти задачи.

Изучение мозга, несомненно, даст ответы на два важных вопроса:

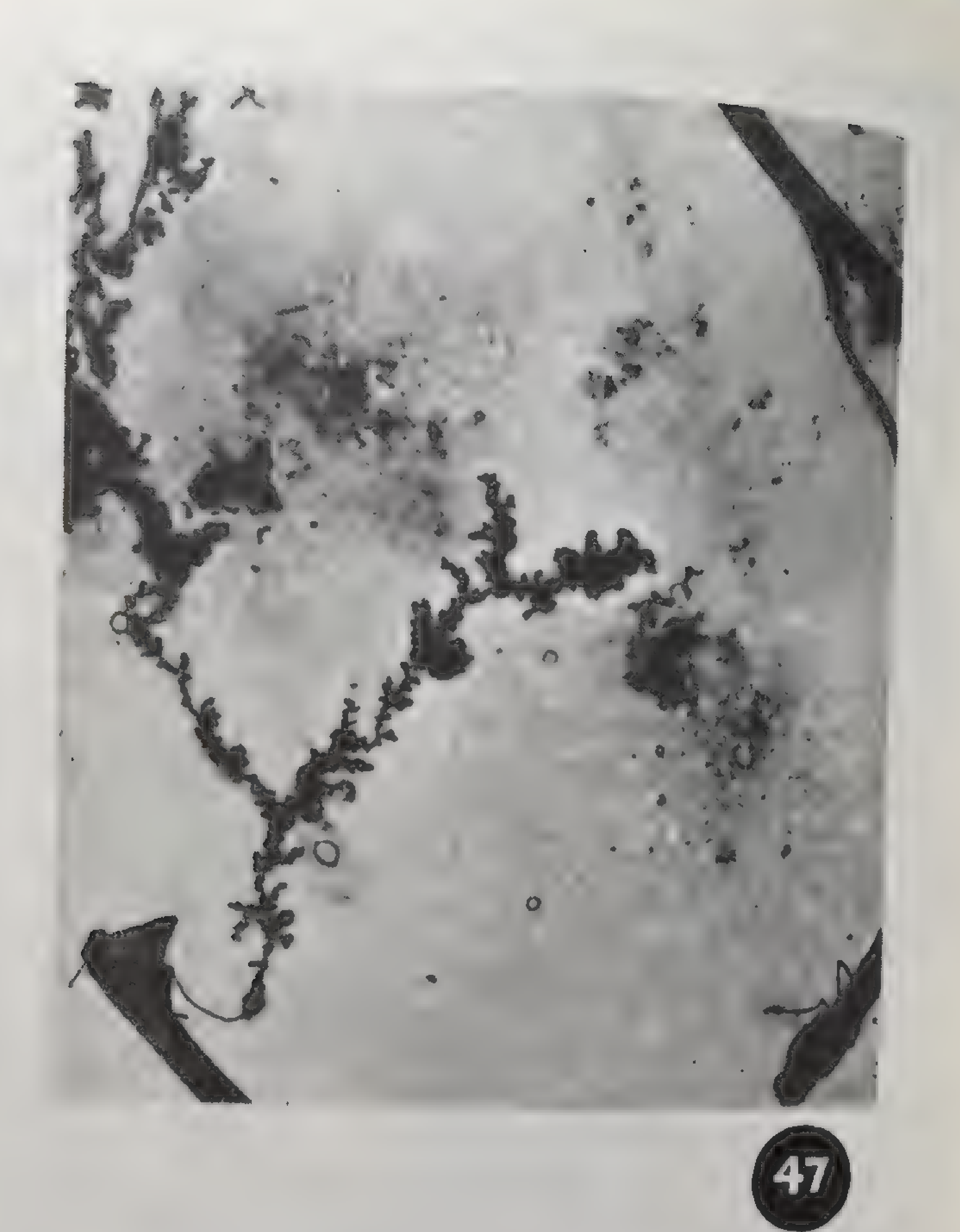
1) как организован мозг и что дает ему возможность надежно работать при наличии в нем ненадежных элементов?

2) как изменяет мозг свою внутреннюю организацию, когда обучается решению задач?

Когда будут получены ответы на эти вопросы, тогда удастся построить весьма совершенные вычислительные машины, блоки которых, по-видимому, будут сильно отличаться от блоков, применяемых ныне.

Отдельные части таких машин будут относительно просты и легки для массового изготовления. Некоторые части могут не совсем точно выполнять свои функции, но в машине, как в едином комплексе, они будут соединены так, что в целом обеспечат надежную работу. Ответ на первый вопрос покажет, как этого достичь.

Компоненты вычислительной машины необходимо соединять между собой, поэтому производство простых компонентов не дало бы больших преимуществ, если при этом потребовалось бы осуществлять очень сложные и точ-



Прототип машины будущего. На фотографии видны нити железа, образовавшиеся в ванне электролита при опытах Паска. Жирные черные линии — силуэты соединительных проводников, тонкие проволочки, отходящие от них, — электроды. Они четко видны в обоих нижних углах и вверху. Устройство находилось под воздействием серии импульсов тока, приложенных к различным электродам; в результате получилась сложная картина отложения кристаллов железа.

ные соединения. В случае же, когда вычислительная машина может самоорганизовываться, способ ее первоначального соединения не играет большой роли. Итак, ответ на второй вопрос покажет нам, как преодолеть трудности получения правильных соединений.

Элементы какого типа смогут быть использованы в вычислительных машинах будущего?

Легче всего было бы получать такие компоненты, которые вырастали бы сами и в большом количестве. Известно, что при прохождении электрического тока через раствор железного купороса на дне сосуда образуются железные нити. Гордону Паску удалось вырастить довольно разветвленную систему нитей в сосудах с большим числом электродов. Информация в виде электрических сигналов поступает в систему железных нитей через электроды. Здесь же имеются и другие, считывающие электроды, которые получают сигналы из системы (фиг. 47). Паск рассмотрел также ряд способов, которыми можно создать систему, самоорганизующуюся для достижения некоторой цели.

Простейшие компоненты, из которых в . перспективе будут состоять вычислительные машины, возможно, смогут саморазмножаться подобно железным нитям, полученным Паском. Дальнейшие исследования головного мозга покажут, как должна функционировать вычислительная машина, состоящая из таких элементов.

А. М. Эндрю

МОЗГ

И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Редактор Р. А. Фесенко

Художник Ю. И. Соостер

Художественный редактор
Ю. Л. Максимов

Технический редактор
А. Д. Хомяков

Корректор Е. Б. Марксон

Сдано в производство 11/I—1966 г.
Подписано к печати 7/IX—1966 г.
Бумага 84×108 $^{1}/_{32}$=1,50 бум. л.
печ. л. 5,04. Уч.-изд. л. 5,45.
Изд. № 12/3417 Цена 84 к. Зак. 115.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Ярославль, ул. Свободы, 97

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

По техническим причинам на рис. 41, 42 и 44 изменены цвета: вместо малинового—сиреневый и вместо оранжевого — коричневый.

Приносим Вам свои извинения.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

84 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»